

21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

土木工程施工

主　编　陈泽世　凌平平







北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

土木工程施工

主　编　陈泽世　凌平平

副主编　余婵娟　张苡铭　占征杰
　　　　雷　洋　徐忠辉

参　编　魏　炜　万凤鸣　龙立华
　　　　李　菁　刘倩倩　陈文强

主　审　陈升平

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书分为施工技术（上）和施工组织（下）两大篇，共14章。其中施工技术篇包括土方工程、基坑工程、基础工程、砌体工程、钢筋混凝土工程、预应力混凝土工程、结构安装工程、防水及保温工程、装饰工程共9章内容；施工组织篇包括施工组织概论、流水施工原理、网络计划技术、施工组织总设计、单位工程施工组织设计共5章内容。本书在规范应用上采用国家颁布的最新标准，同时本书具有注重实践、深入浅出、循序渐进、可读性强的特点。

本书可作为高等院校土木工程、道路与桥梁工程及相关专业本科及专科教材，也可作为土木工程、道路与桥梁工程技术人员、管理人员的进修和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程施工 / 陈泽世，凌平平主编 . —北京：北京大学出版社，2016. 5
（21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材）
ISBN 978-7-301-27063-9

Ⅰ. ①土… Ⅱ. ①陈… ②凌… Ⅲ. ①土木工程—工程施工—高等学校 – 教材 Ⅳ. ① TU7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 079161 号

书　　名　土木工程施工
　　　　　Tumu Gongcheng Shigong
著作责任者　陈泽世　凌平平　主编
策 划 编 辑　曹江平
责 任 编 辑　伍大维
标 准 书 号　ISBN 978-7-301-27063-9
出 版 发 行　北京大学出版社
地　　址　北京市海淀区成府路 205 号　100871
网　　址　http://www.pup.cn　新浪微博：@ 北京大学出版社
电 子 信 箱　pup_6@163.com
电　　话　邮购部 62752015　发行部 62750672　编辑部 62750667
印 刷 者
经 销 者　新华书店
　　　　　787 毫米 ×1092 毫米　16 开本　28 印张　650 千字
　　　　　2016 年 5 月第 1 版　2016 年 5 月第 1 次印刷
定　　价　56.00 元

目　　录

上篇　施工技术

上　篇

施工技术



第1章 土方工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
土方工程概述	了解	土方工程施工分类、施工特点
土的工程分类和土的性质	了解	土按不同要求分类、土的质量密度、土的含水量、土的渗透性、土的可松性
场地平整	重点掌握	确定场地设计标高
土方调配	掌握	场地土方量计算、土方调配与优化
土方填筑与压实	掌握	土料选择、填筑方法、压实方法、影响压实质量的因素、填土压实的质量检测
土方机械化施工	了解	常见土方机械的类型、特点、适用范围和作业方法

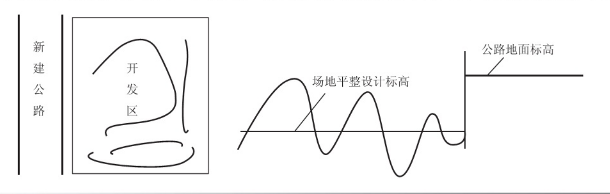
本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
方格网法确定场地设计标高	理解	将实际工程地面形式导入平面中进行计算和设计，合理地进行土方工程施工
“表上作业法”进行土方调配与优化	了解	



案例导航

位于湖北工业大学附近的原湖北省农科院试验地，地面凹凸不平，有农田、小山包、沟壑等。随着经济的发展，此处将进行商品房“拉德芳斯”项目的开发。此开发区的平面位置和地形标高示意图如下。



本章问题讨论

1. 首先如何确定开发区的场地设计标高 H_0？
2. 场地平整设计标高的调整应考虑哪些因素？如何进行调整？
3. 若考虑开发区与公路地面水平面的高程有一定的要求，又该如何进行场地平整？

1.1 土方工程

1.1.1 土方工程施工概述

1. 施工分类

(1) 土木工程施工中，常见的土方工程有场地平整、基坑（槽）和管沟开挖、地坪填土、路基填筑及基坑回填等。

(2) 土方施工的准备工作和辅助工程有施工排水、降水，土壁支撑，运输等。

2. 施工特点

土方工程的特点是：土方工程面广量大、劳动繁重、施工条件复杂、影响因素多，因而，应合理组织施工，尽量使用机械化作业，并做好施工机械的配套工作，以取得较好的施工效果。

1.1.2 土的工程分类和工程性质

土的种类繁多，其工程性质直接影响土方工程施工方法的选择、劳动量的消耗和工程的施工费用。

1. 土的工程分类（表 1-1）

(1) 根据开挖的难易程度分：松软土、普通土、坚土、砂砾坚土、软石、次坚石、坚石、特坚石。

(2) 根据颗粒级配与塑性指数分：岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土、人工填土。

表 1-1 土的工程分类

土的分类	土的名称	土的密度 /(t/m³)	可松性系数		开挖工具及方法
			K_S	K_S'	
一类土（松软土）	砂，粉土，冲击砂土层，种植土，泥炭（淤泥）	0.5 ～ 1.5	1.08 ～ 1.17	1.01 ～ 1.03	用锹、锄头挖掘
二类土（普通土）	粉质黏土，潮湿的黄土，夹有碎石、卵石的砂，种植土，填筑土及粉土	0.11 ～ 1.6	1.14 ～ 1.28	1.02 ～ 1.05	用锹、锄头挖掘，少许用镐翻松

（续）

土的分类	土的名称	土的密度 /(t/m³)	可松性系数		开挖工具及方法
			K_s	K_s'	
三类土（坚土）	软黏土及中等密实黏土，重粉质黏土，粗砾石，干黄土及含碎石、卵石的黄土，粉质黏土，压实的填筑土	1.75 ～ 1.9	1.24 ～ 1.30	1.04 ～ 1.07	主要用镐，少许用锹、锄头挖掘，部分用撬棍
四类土（砂砾坚土）	重黏土及含碎石、卵石的黏土，粗砾石，密实的黄土，天然级配砂土，软泥灰岩及蛋白石	1.9	1.26 ～ 1.32	1.06 ～ 1.09	先用镐、撬棍，然后用锹挖掘，部分用楔子及大锤
五类土（软石）	中等密实的页岩，软的石灰岩	1.1 ～ 2.7	1.30 ～ 1.45	1.10 ～ 1.20	用镐和撬棍、大锤挖掘，部分使用爆破方法
六类土（次坚石）	泥岩，砂岩，砾岩，坚实的页岩，片麻岩，风化花岗岩，密实的石灰岩，泥炭岩	2.2 ～ 2.9	1.30 ～ 1.45	1.10 ～ 1.20	用爆破方法开挖，部分用风镐
七类土（坚石）	大理岩，绿辉岩，粗、中粒花岗岩，坚实的白云岩、砂岩、页岩、片麻岩、石灰岩，风化痕迹的安山岩，玄武岩	2.5 ～ 3.1	1.30 ～ 1.45	1.10 ～ 1.20	用爆破方法开挖
八类土（特坚石）	安山岩，玄武岩，坚实的粗粒花岗岩	2.7 ～ 3.3	1.45 ～ 1.50	1.20 ～ 1.30	用爆破方法开挖

2. 土的工程性质

土的工程性质对土方工程的施工方法及工程量大小有直接的影响，其基本的工程性质如下。

1）土的质量密度

$$\rho=m/V \qquad m=m_w+m_s \tag{1-1}$$

式中 m——土的质量；

V——土的体积；

m_w——水的质量；

m_s——土颗粒的质量。

2）土的含水量（W）

土的含水量是土中所含的水与土的固体颗粒质量之比的百分率。

$$W=\frac{G_1-G_2}{G_2}\times 100\% \tag{1-2}$$

式中 G_1——含水状态时土的质量；

G_2——土烘干后的质量。

3）土的可松性

土的可松性是指在自然状态下的土，经过开挖以后，其体积因松散而增加，后虽经回填压实，仍不能恢复到原体积的特性，通常用可松性系数来表示的。

$$K_S = \frac{V_2}{V_1} \tag{1-3}$$

$$K'_S = \frac{V_3}{V_1} \tag{1-4}$$

式中　K_S——土的最初可松性系数；

K'_S——土的最终可松性系数；

V_1——土在自然状态下的体积（m^3）；

V_2——土经开挖后的松散体积（m^3）；

V_3——土经回填压实后的体积（m^3）。

4）土的渗透性

土的渗透性是土体孔隙中的自由水在重力作用下会透过土体运动，一种被水透过的性质，用渗透系数 K 表示（图 1.1 和表 1-2）。

$$Q = K \times \frac{\Delta H}{L} \times A \tag{1-5}$$

$$K = \frac{Q}{AI} = \frac{V}{I} \tag{1-6}$$

式中　K——渗透系数（m/d）；

Q——单位时间内渗透通过的水量（m^3/d）；

A——通过水量的总横断面积（m^2）；

V——渗透水流的速度（m/d）；

I——水力坡度（高水位 h_1 与低水位 h_2 之差与渗透距离 s 的比值）。

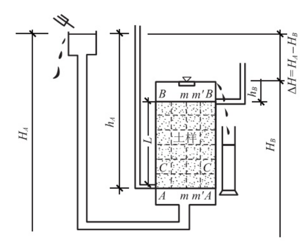


图 1.1　一维渗流实验示意图

表 1-2 土的渗透系数 K 的参考值

名称	渗透系数 K/(m/d)	名称	渗透系数 K/(m/d)
黏土	＜ 0.005	中砂	5.0 ～ 20
粉质黏土	0.005 ～ 0.1	均值中砂	25 ～ 50
粉土	0.1 ～ 0.5	粗砂	20 ～ 50
黄土	0.25 ～ 0.5	圆砾	50 ～ 100
粉砂	0.5 ～ 1.0	卵石	100 ～ 500
细砂	1.0 ～ 5.0	无充填物卵石	500 ～ 1000

1.2 场地平整

场地平整施工，一般应安排在基坑（槽）、管沟开挖之前进行，以使大型土方机械有较大的工作面，能充分发挥其效能，并能减少与其他工作的相互干扰。土方工程中场地平整的施工工艺流程为：现场勘查→清除地面障碍物→标定平整范围→设置水准点→设置方格网→测量标高→计算土方挖填工程量→平整土方→场地碾压→验收。

1.2.1 初步确定场地设计标高

一般采用挖填平衡法确定场地设计标高。

1. 场地设计标高的确定原则

(1) 满足工艺和运输的要求。

(2) 尽量利用地形，减少挖填方量。

(3) 场地内挖、填方平衡，土方运输总费用最少。

(4) 有一定的泄水坡度（≥ 0.002)，满足排水要求，并考虑最大洪水水位的影响。

2. 初步计算场地设计标高

(1) 在地形图上将施工区域划分为 a=10 ～ 50m 的正方形网格（地形起伏大时取小值，小时取大值，一般情况取 20m)，如图 1.2 所示。

(2) 根据等高线按比例用插入法确定各方格网点的自然标高 H_{ij}。

(3) 挖填平衡确定设计标高 H_0。

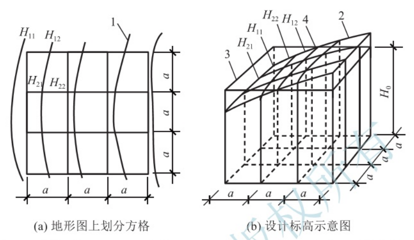
场地土方在平整前后相等，则

$$H_0 N a^2 = \sum_1^N a^2 \frac{H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22}}{4} \tag{1-7}$$

即

$$H_0 = \frac{\sum_1^N (H_{11} + H_{12} + H_{21} + H_{22})}{4N} \tag{1-8}$$

式中　　H_0——所计算的场地设计标高（m）；
a——方格边长（m）；
N——方格数量；
H_{11}、H_{12}、H_{21}、H_{22}——任一方格四个角点的标高（m）。



(a) 地形图上划分方格　　(b) 设计标高示意图

1—等高线；2—自然地坪；3—设计标高平面；4—自然地坪与设计标高平面的交线（零线）

图 1.2　场地平整标高计算

由图 1.2 可见，H_{11} 为一个方格独有，H_{12}、H_{21} 为两个方格共有，H_{22} 则为四个方格所共有，在用式（1-8）计算的过程中，类似 H_{11} 的标高仅加一次，类似 H_{12}、H_{21} 的标高加两次，类似 H_{22} 的标高则加四次，在不规则场地中也有标高加三次的，这种在计算过程中被应用的次数，反映了各角点标高对计算结果的影响程度。考虑各角点标高的计算次数，式（1-8）可改写成更便于计算的形式：

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4N} \tag{1-9}$$

式中　H_1———一个方格独有的角点标高（m）；
H_1、H_2、H_3——分别为二、三、四个方格所共有的角点标高（m）。

1.2.2　设计标高的调整

式（1-9）计算的 H_0 为一理论数值，实际尚需考虑以下因素的影响。

1. 土的可松性影响

由于土的可松性，土在开挖后，实际体积会增长，需要提高设计标高 Δh，以达到土方量的平衡，如图 1.3 所示。

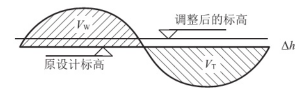


图 1.3　土的可松性引起场地设计标高提高

由

$$V_{\mathrm{T}}+A_{\mathrm{T}}\Delta h=(V_{\mathrm{W}}-A_{\mathrm{W}}\Delta h)K_{\mathrm{S}}' \tag{1-10}$$

得

$$\Delta h=\frac{V_{\mathrm{W}}(K_{\mathrm{S}}'-1)}{A_{\mathrm{T}}+A_{\mathrm{W}}K_{\mathrm{S}}'} \tag{1-11}$$

式中 Δh——设计标高的增加值；

V_{T}、V_{W}——设计标高调整前的填、挖方体积；

A_{T}、A_{W}——设计标高调整前的填、挖方面积；

K_{S}'——土的最终可松性系数。

2. 泄水坡度的影响

设计标高的调整主要是泄水坡度的调整，由于按式（1-8）得到的设计平面是一水平的场地，而实际场地往往需有一定的泄水坡度。因此，应根据泄水要求计算出实际施工时所采用的设计标高。

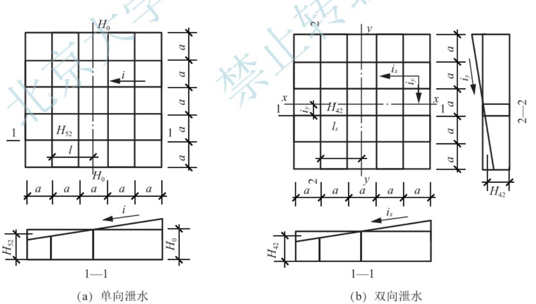
以 H_0 作为场地中心的标高（图 1.4），则场地任意点的设计标高为

$$H_n=H_0\pm l_x i_x\pm l_y i_y \tag{1-12}$$

式中 H_n——考虑泄水坡度的角点设计标高；

i_x、i_y——分别为 x 方向和 y 方向的泄水坡度；

l_x、l_y——分别为计算点沿 x、y 方向距场地中心的距离。



(a) 单向泄水　(b) 双向泄水

图 1.4 泄水坡度影响角点设计标高

3. 场内挖方和填方的影响

由于场地内大型基坑挖出的土方、修筑路堤提高的土方，以及经过经济比较而将部分挖方土就近弃于场外，或部分填方就近从场外取土，均会导致挖填土方量的变化，因此必要时应重新调整设计标高。

1.3 场地平整土方量的计算与调配

1.3.1 方格网法计算土方量

在进行土方工程量计算之前，将绘有等高线的现场地形图分为若干数量的方格（或根据测绘的方格网图），然后按设计高程和自然高程，求出挖填高程，再进行土方量的计算。方格网法适用于地形平缓或台阶宽度较大的地段采用。

其计算步骤如下。

1. 方格的划分

常用的方法是在 1/500 的地形图上，以 20m×20m 或 40m×40m 划分成若干个方格，将设计标高和地面标高分别标在方格点的右上角和右下角，将自然地面标高与设计地面标高的差值，即各角点的施工高度（挖或填），填在方格网的左上角，挖方为“+”，填方为“-”。

2. 计算场地方格网各角点的施工高度

场地设计标高确定后，求出平整的场地方格网各角点的施工高度（即挖、填高度），施工高度按式 (1-13) 计算：

$$h_n = H_n - H_n' \tag{1-13}$$

式中 h_n——n 点的施工高度（若为正值，则该点为填方；若为负值，则该点为挖方）；

H_n、H_n'——分别为设计平面标高和原地形标高。

3. 绘出“零线”

在一个方格网内同时有填方或挖方时，要先算出方格边的零点位置，并标注于方格网上，连接零点就得零线，它是填方区与挖方区的分界线。

“零点”（图 1.5）的位置按式 (1-14) 计算：

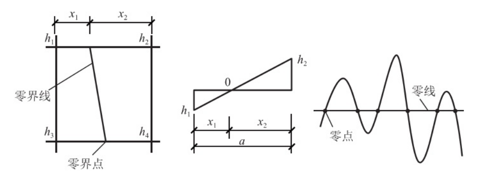


图 1.5 “零点”计算示意图

$$x_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} a \text{；} \quad x_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} a \qquad (1\text{-}14)$$

式中　x_1、x_2——分别为角点 1、2 至“零点”的位置；

　　h_1、h_2——分别为挖、填高度，均为绝对值；

　　　a——方格边长。

4. 场地土方量的计算

按方格网底面积图形和表 1-3 所列的体积计算公式计算每个方格内的挖方或填方量，或用查表法计算，有关计算公式见表 1-3。

表 1-3　常用方格网点计算公式

项　　目	图　　式	计算公式
一点填方或挖方（三角形）		$V = \frac{1}{2}bc\frac{\sum h}{3} = \frac{bch_3}{6}$ 当 $b=a=c$ 时，$V = \frac{a^2 h_3}{6}$
两点填方或挖方（梯形）		$V_- = \frac{b+c}{2}a\frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8}(b+c)(h_1+h_3)$ $V_+ = \frac{d+e}{2}a\frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8}(d+e)(h_2+h_4)$
三点填方或挖方（五角形）		$V = \left(a^2 - \frac{bc}{2}\right)\frac{\sum h}{5}$ $= \left(a^2 - \frac{bc}{2}\right)\frac{h_1+h_2+h_3}{5}$
四点填方或挖方（正方形）		$V = \frac{a^2}{4}\sum h = \frac{a^2}{4}(h_1+h_2+h_3+h_4)$

注：1. a——方格网的边长（m）；b、c——零点到一角的边长（m）；h_1、h_2、h_3、h_4——方格网四角点的施工高程（m），用绝对值代入；$\sum h$——填方或挖方施工高程的总和（m），用绝对值代入；V——挖方或填方体积（m^3）。

2. 本表公式是按各计算图形底面积乘以平均施工高程而得出的。

【例 1-1】某建筑场地方格网、地面标高如图 1.6 所示，方格边长 a=20m。泄水坡度 i_x=2‰，i_y=3‰，不考虑土的可松性的影响，确定方格网各角点的设计标高。

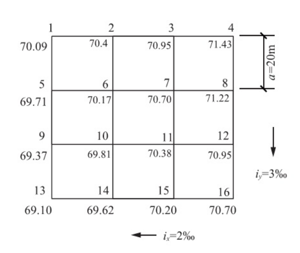


图 1.6　某建筑场地方格网、地面标高

解：(1) 初步设计标高（场地平均标高）。

$H_0=(h_1+2h_2+3h_3+4h_4)/(4n)$

$=[70.09+71.43+69.10+70.70+2\times(70.40+70.95+69.71+\cdots)+$

$4\times(70.17+70.70+69.81+70.38)]/(4\times9)=70.29(\mathrm{m})$

(2) 按泄水坡度调整设计标高。

$H_n=H_0\pm l_x i_x \pm l_y i_y$

$H_1=70.29-30\times2‰+30\times3‰=70.32(\mathrm{m})$

$H_2=70.29-10\times2‰+30\times3‰=70.36(\mathrm{m})$

$H_3=70.29+10\times2‰+30\times3‰=70.40(\mathrm{m})$

其他如图 1.7 所示。

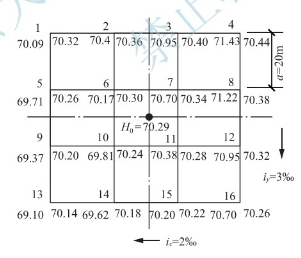


图 1.7　按泄水坡度调整的设计标高

(3) 计算各方格角点的施工高度。

$$h_n: h_n=H_n-H_n'$$

即 h_n= 该角点的设计标高 - 自然地面标高 (m)

$h_1=70.32-70.09=+0.23(\mathrm{m})$（正值为填方高度）

$h_2=70.36-70.40=-0.04(\mathrm{m})$（负值为挖方高度）

其他如图 1.8 所示。

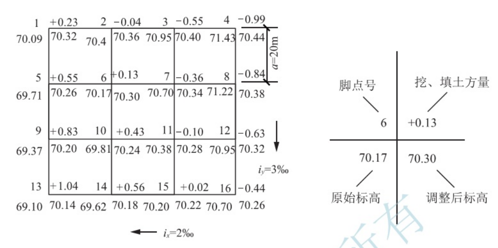


图 1.8 各方格角点的施工高度

(4) 确定零线（挖填分界线）：插入法、比例法找零点，零点连线即零线，如图 1.9 所示。

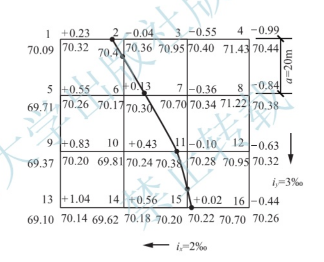


图 1.9 确定零线

(5) 场地土方量的计算：分别按方格求出挖、填方量，再求整个场地的总挖方量、总填方量。

①全挖、全填格：

$$V_{挖(填)}=a^2(h_1+h_2+h_3+h_4)/4$$

式中 $h_1 \sim h_4$——方格角点施工高度绝对值；

$V_{挖(填)}$——挖方或填方的体积。

②部分挖、部分填格：

$$V_{挖(填)}=a^2\ [\sum h_{挖(填)}]\times 2/\sum 4h$$

式中 $\sum h_{挖(填)}$——方格角点挖或填施工高度绝对值之和；

$\sum h$——方格四个角点施工高度绝对值总和。

1.3.2 土方量的调配与优化

在做土方施工组织设计或施工计划安排时，还要确定土方量的相互调配关系。地形设计所定的填方区，其需要的土方从什么地点取土？取多少土？挖湖挖出的土方，运到哪里？运多少到各个填方点？这些问题都要在施工开始前切实解决，因此必须做好土方调配计划。

1. 土方调配区的划分

(1) 进行土方调配时，首先要划分调配区，计算出各调配区的土方量，并在调配图上标明，在划分土方调配区时应注意下列几个方面。

①调配区的划分应与房屋或构筑物的位置相协调，考虑工程施工顺序和分期分区施工顺序的要求，使近期施工和后期利用相结合。

②调配区的大小，应考虑使土方机械和运输车辆的技术性能得到充分发挥。

③调配区的范围应与计算土方量用的方格网相协调，通常可由若干个方格网组成一个调配区。当一个局部场地不能满足填、挖平衡和总运输量最小时，考虑就近借土或弃土，这时每一个借土区或弃土区应作为一个独立的调配区。

(2) 计算调配区之间的平均运距（即土方重心间的距离，可近似以几何形心代替土方体积重心）或运输单价。

2. 建立土方调配的数学模型

土方调配是以运筹学中线性规划问题的解决方法为理论依据的。假设某工程有 m 个挖方区，用 W_i(i=1，2，…，m) 表示，挖方量为 a_i；有 n 个填方区，用 T_j(j=1，2，…，n) 表示，填方量为 b_j。挖方区 W_i 将土运输至填方区 T_j 的平均运距为 C_{ij}，见表 1-4。

表 1-4　挖填方量及平均运距

填方区 / 挖方区	T_1	T_2	…	T_n	挖方量 /m^3
W_1	C_{11} x_{11}	C_{12} x_{12}	…	C_{1n} x_{1n}	a_1
W_2	C_{21} x_{21}	C_{22} x_{22}	…	C_{2n} x_{2n}	a_2
…	…	…	…	…	…
W_m	C_{m1} x_{m1}	C_{m2} x_{m2}	…	C_{mn} x_{mn}	a_m
填方量 /m^3	b_1	b_2	…	b_m	a_m=b_m

表中 x_{ij} 表示从挖方区 W_i 调配给填方区 T_j 的土方量。

土方调配问题可以转化为这样一个数学模型，即要求求出一组 x_{ij} 的值，使得目标函数

$$Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(C_{ij}x_{ij}) \tag{1-15}$$

为最小值，而且 x_{ij} 满足下列约束条件：

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = a_i \quad (i=1，2，\cdots，m) \tag{1-16}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = b_j \quad (j=1，2，\cdots，n)$$

$$x_{ij} \geqslant 0$$

根据约束条件可知，未知变量有 $m \times n$ 个，而方程个数有 $m+n$ 个，由于填、挖方量平衡，前面 m 个方程相加，减去后面 $n-1$ 个方程之和，得第 n 个方程，则独立方程的数量有 $m+n-1$ 个。

3. 用“表上作业法”进行土方调配

用“表上作业法”进行土方调配的步骤是：①初始方案的确定；②方案是否最优的判别；③方案的调整。

下面通过一个例子来说明“表上作业法”求解平衡运输问题的方法和步骤。

【例 1-2】图 1.10 所示为一矩形场地，现已知各调配区的土方量和各填、挖区相互之间的平均运距（表 1-5），试求最优土方调配方案。

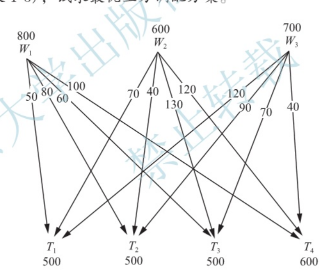


图 1.10　各调配区的土方量和平均运距

表 1-5　填、挖土方平衡及运距表

挖土区 / 填土区	W_1	W_2	W_3	挖方量 /m^3
T_1	50	70	120	500
T_2	80	40	90	500
T_3	60	130	70	500
T_4	100	100	40	600
填方量 /m^3	800	600	700	2100

解：1）确定初始调配方案

初始方案的确定方法很多，目前常采用的一种简单、方便的方法是“最小元素法”。所谓最小元素法，就是根据运距表中最小的平均运距或价格系数（C_{ij}）的方格，取尽可能大的土方调配量（x_{ij}）进行调配。

在表 1-4 中找到平均运距最小的值所在的方格，本例中，T_1 的填土量为 500m³，W_1 ～ W_3 为挖土区，T_1 的运距 50 为最小的运距，按“最小元素法”，可把 W_1 区挖的土全部填入 T_1 区，即 x_{11}=500；同理，可让 W_2 区的土填入运距最小的填土区，将 W_2 的 500m³ 尽可能多地填入运距最小的 T_2 区。依此类推，可填满整个表格，未填的表格表示其土方量为 0，用 × 表示，按此原理，例题中的土方的挖填按表 1-6 填入，该表即为初始调配方案。

表 1-6　土方初始调配方案

挖土区 / 填土区	W_1	W_2	W_3	挖方量 /m³
T_1	500　[50]	×　[70]	×　[120]	500
T_2	×　[80]	500　[40]	×　[90]	500
T_3	300　[60]	100　[130]	100　[70]	500
T_4	×　[100]	×　[100]	600　[40]	600
填方量 /m³	800	600	700	2100

2）最优方案的判别

由于利用“最小元素法”编制初始调配方案，也就是优先考虑了就近调配的原则，所以求得的总的运输量是较小的，但并不能保证其运输总量是最小的，因此还需判别其是否是最优方案。

判别是否为最优方案的方法有许多，其中采用“位势数法”求检验数较为清晰、直观，这里只介绍该法。

“位势数法”是设法求得无调配土方的方格（简称空格）的检验数 λ_{ij}，判别 λ_{ij} 是否非负，如所有 $\lambda_{ij} \geqslant 0$，则方案为最优方案，否则，该方案不是最优方案，需要进行调整。具体方法和步骤如下。

(1) 求位势数。首先将初始调配方案中有调配数方格的平均运距 C_{ij} 列出，然后根据这些数字的方格，按式（1-17）求出两组位势数 u_i(i=1，2，3，…，m) 和 v_j(j=1，2，3，…，n)，并绘出平均运距与位势表（表 1-7）。

$$C_{ij}=u_i+v_j \tag{1-17}$$

(2) 求检验数。位势数求出后，可根据式（1-18）求出各空格的检验数：

$$\lambda_{ij}=C_{ij}-u_i-v_j \tag{1-18}$$

例如，本例两组位势数见表 1-7。

表 1-7 位势、运距与检验数表

填土区＼挖土区	位势	W_1	W_2	W_3	挖方量 /m^3
位势	u_i＼v_j	v_1=50	v_2=120	v_3=60	
T_1	u_1=50	500 [50]	−50 [70]	+ [120]	500
T_2	u_2=−80	+ [80]	500 [40]	+ [90]	500
T_3	u_3=10	300 [60]	100 [130]	100 [70]	500
T_4	u_4=−20	+ [100]	+ [120]	600 [40]	600
填方量 /m^3		800	600	700	2100

先列出有调配方案的 C_{ij}，如 C_{11}，C_{22}，C_{31}，C_{32}，C_{33}，C_{43}，根据 $C_{ij}=u_i+v_j$，令 $u_1=0$，则

$v_1=C_{11}-u_1=50$

$u_3=C_{31}-v_1=60-50=10$

$v_2=C_{32}-u_3=130-10=120$

$v_3=C_{32}-u_2=70-10=60$

$u_4=C_{43}-v_3=40-60=-20$

$u_2=C_{22}-v_2=40-120=-80$

本例各空格的检验数见表 1-7。如 $\lambda_{41}=C_{41}-u_4-v_1=100-(-20)-50=70$（在表 1-7 中只写“+”，可不必填入数值），$\lambda_{12}=C_{12}-u_1-v_2=70-0-120=-50$。

从表 1-7 中可以看出，$\lambda_{12}=-50<0$，即初始土方调配方案不是最优方案，需要进一步调整。

3）调整方案

(1) 在所有负检验数中选一个最小值，本例为 λ_{12}，将它所对应的变量 x_{12} 作为调整对象。

(2) 找出 x_{12} 的闭回路：从 x_{12} 格出发，沿水平或竖直方向前进，遇到适当的有数字的方格作 90° 转弯，然后依次继续前进，经有限步后回到出发点，形成一条闭回路，见表 1-8。

表 1-8 x_{12} 的闭回路

填土区＼挖土区	位势	W_1	W_2	W_3	挖方量 /m^3
位势	u_i＼v_j	v_1=50	v_2=120	v_3=60	
T_1	u_1=0	500 [50]	−50 [70]	+ [120]	500
T_2	u_2=−80	+ [80]	500 [40]	+ [90]	500
T_3	u_3=10	300 [60]	100 [130]	100 [70]	500
T_4	u_4=−20	+ [100]	+ [120]	600 [40]	600
填方量 /m^3		800	600	700	2100

(3) 从空格 x_{12} 出发，沿着闭回路（方向任意）一直前进，从各奇数转角点的数字中挑选最大运距对应的 x_{ij}，将它调到 x_{32} 空格中。本例即在 x_{11}、x_{32} 中选出 max(50，130)=130，即 x_{32}=130。

(4) 将 100 填入 x_{12} 方格中，则 x_{32}=0（变为空格），同时，其他奇数转角都减去 100，即 x_{11} 变成 500-100=400。偶数转角都增加 100，即 x_{31}=300+100=400，使得填挖方区的土方量仍保持平衡。这样调整后，可得新的土方调配方案，见表 1-9。

4) 新方案的最优性判断

对新的方案仍用“位势法”进行检验，如检验数仍有负数出现，则按上述方法继续调整，直到找出最优方案为止。新的调配表中，所有检验数均为正（表 1-9），故该方案为最优方案。

其土方的总运输量为：

$$Q = 800\times50+200\times70+1000\times40+800\times60+200\times70+800\times40=188000\ (\mathrm{m^3{\bullet}m})$$

表 1-9 新的土方调配方案及其位势、检验数

挖土区 / 填土区	位势	W_1	W_2	W_3	挖方量 /m³
位势	v_j / u_i	v_1=50	v_2=70	v_3=60	
T_1	u_1=0	400 [50]	100 [70]	+ [120]	500
T_2	u_2=−30	+ [80]	500 [40]	+ [90]	500
T_3	u_3=10	400 [50]	+ [130]	100 [70]	500
T_4	u_4=−20	+ [100]	+ [120]	600 [40]	600
填方量 /m³		800	600	700	2100

5) 绘制土方调配图

最后将土方调配方案绘制成土方调配图（图 1.11），在图上应注明填挖调配区、调配方向、土方数量以及每对填挖之间的平均运距。

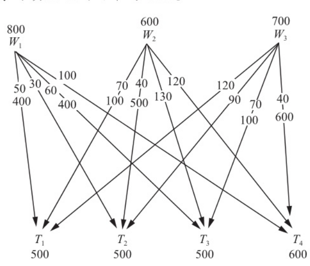


图 1.11 最优方案土方调配图

1.4 土方工程机械化施工

由于土方工程面广量大、劳动繁重，施工时应尽可能采用机械化、半机械化施工，以减轻繁重的体力劳动，加快施工进度，降低工程造价。

1.4.1 常用土方施工机械

1. 推土机

推土机是土方工程施工的主要机械之一，是在动力机械的前方安装推土板等工作装置而成的机械。它可以独立地完成铲土、运土及卸土等作业。按行走机构的形式，推土机可分为履带式和轮胎式两种。履带式推土机附着牵引力大，对地压应力小，但机动性不如轮胎式推土机。按推土板的操纵机构不同，可分为索式和液压式两种。液压式推土机的铲刀用液压操纵，能强制切入土中，切土较深，且可以调升铲刀和调整铲刀的角度，因此具有更大的灵活性，是目前常用的一种推土机（图 1.12）。

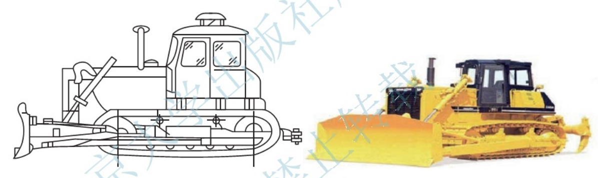


图 1.12 液压式推土机

推土机的特点：操纵灵活，运转方便，所需工作面较小，行驶速度快，易于转移，能爬 30° 左右的缓坡，因此应用范围较广。它适用于开挖一至四类土。

推土机的运距宜在 100m 以内，效率最高的推运距离为 30 ～ 60m。推土机的生产率主要取决于推土板推移土的体积以及切土、推土、回程等工作的循环时间，为提高生产效率，可采用下列作业方法。

(1) 下坡推土（图 1.13）。在斜坡上，推土机顺地面坡势沿下坡方向推土，借助机械往下的重力作用，可增大铲刀切土深度和运土数量，可提高推土机能力和缩短推土时间，一般可提高生产率 30% ～ 40%。在推土丘、回填管沟时均可使用，但推土坡度应在 0.5m 以内，以免后退时爬坡困难。

(2) 槽形推土。推土机重复多次在一条作业线上切土和推土，使地面逐渐形成一条浅槽，以减少土从铲刀两侧散漏，从而增加推土量。此法可以和分批集中、一次推送法联合运用，这样可增加 10% ～ 30% 的推土量，缩短运土时间。

(3) 并列推土（图 1.14）。对于大面积的施工区，可用 2 ～ 3 台推土机并列推土（不宜超过 4 台）。推土时两铲刀相距 150 ～ 300cm，这样可以减少土的散失而增大推土量，

一般能提高生产率 15% ～ 30%，但平均运距为 50 ～ 75m，且不宜小于 20m。

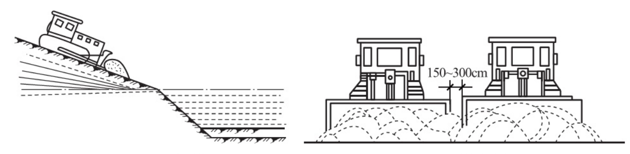


图 1.13　下坡推土　　　　图 1.14　并列推土

(4) 分批集中，一次推送。若运距较远而土质又比较坚硬时，或长距离分段送土时，由于切土的深度不大，宜采用多次铲土、分批集中、再一次推送的方法，使铲刀前保持满载，生产效率可提高 12% ～ 18%。堆积距离不宜大于 30m，推土高度以 2m 内为宜。

2. 铲运机

铲运机不需要其他机械配合就能完成铲土、运土、卸土、填筑、压实等工序，行驶速度快，易于转移；需用劳力少，动力少，生产效率高。铲运机按行走机构可分为拖式铲运机（图 1.15）和自行式铲运机（图 1.16）两种。拖式铲运机由拖拉机牵引，自行式铲运机的行驶和作业都靠本身的动力设备。

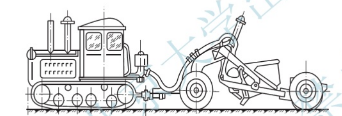




图 1.15　C_6-2.5 型拖式铲运机

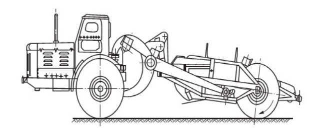




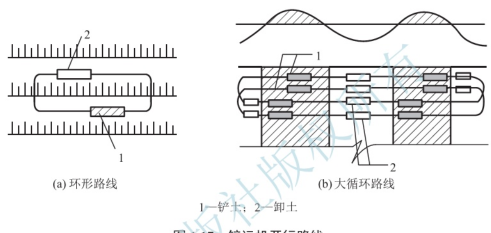
图 1.16　C_3-6 型自行式铲运机

铲运机操作简单、灵活，不受地形限制，对行驶的道路要求较低，生产率较高。常被运用于大面积场地平整，开挖大型基坑、沟槽，以及填筑路基、堤坝等工程。铲运机最适宜铲运含水量不大于 27% 的松土和普通土，但不适宜在砾石层、冻土地带及沼泽区工作。当铲运三、四类较坚硬的土壤时，宜用推土机助铲或选用松土机械配合把土翻松以提高生产率。自行式铲运机的经济运距为 800 ～ 1500m。拖式铲运机的运距以 600m 为宜，当运距为 200 ～ 300m 时效率最高。

1）铲运机的开行路线

铲运机的运行路线对生产效率的影响很大，应根据挖、填方区的分布情况，并结合施工现场的具体条件进行合理选择。一般有环形路线和“8”字形路线两种。

(1) 环形路线。当地形起伏不大，施工地段较短时，多采用环形路线 [图 1.17(a)]。环形路线每一循环只完成一次铲土和卸土，挖土和填土交替；挖、填之间距离较短时，则可采用大循环路线 [图 1.17(b)]，一个循环能完成多次铲土和卸土，这样可减少铲运机的转弯次数，提高工作效率。

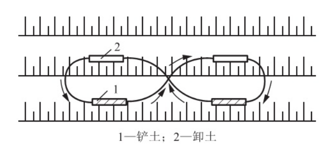


(a) 环形路线　　(b) 大循环路线

1—铲土；2—卸土

图 1.17　铲运机开行路线

(2)“8”字形路线。装土、运土和卸土时按“8”字形运行，一个循环完成两次挖土和卸土作业（图 1.18）。施工地段较长或地形起伏较大时，多采用“8”字形开行路线。这种开行路线，铲运机在上、下坡时是斜向行驶，受地形坡度的限制小；一个循环中两次转弯方向不同，可避免机械行驶时的单侧磨损；一个循环完成两次铲土和卸土，减少了转弯次数及空车行驶距离，从而也可缩短运行时间，提高生产效率。“8”字形路线适用于开挖管沟、沟边卸土或取土坑较长（300 ～ 500m）的侧向取土、填筑路基以及场地平整等工程。



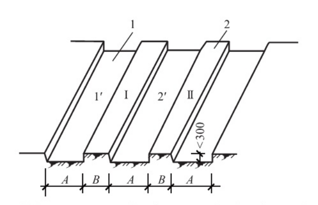
1—铲土；2—卸土

图 1.18　“8”字形路线

2）作业方法

(1) 下坡铲土。铲运机利用地形进行下坡（坡度一般为 3°～ 9°）推土，借助铲运机的重力，加深铲斗切土深度。

(2) 跨铲法（图 1.19）。铲运机间隔铲土，预留土埂。这样，在间隔铲土时由于形成一个土槽，减少向外撒土量；铲土埂时，铲土阻力减小。一般土埂高不大于 300mm，宽度不大于拖拉机两履带间的净距。跨铲法适合于较坚硬的土铲土回填或场地平整。



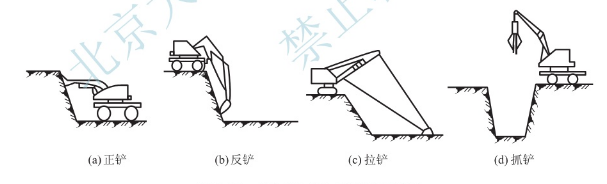
1—沟槽；2—土埂；A—铲土宽；B—不大于拖拉机履带净距

图 1.19　跨铲法

(3) 双联铲运法。当拖式铲运机的动力有富余时，可在拖拉机后面串联两个铲斗进行双联铲运。对坚硬土层，可用双联单铲，即一个土斗铲满后，再铲另一斗土；对松软土层，则可用双联双铲，即两个土斗同时铲土。前者可提高工作效率 20% ～ 30%，后者可提高工作效率约 60%。双联铲运法适合于较松软的土进行大面积场地平整及筑堤时采用。

3. 单斗挖土机

单斗挖土机是土方开挖施工中常用的一种机械，只适用于挖土，运土由自卸式汽车完成。按其工作装置的不同，分为正铲、反铲、拉铲和抓铲四种（图 1.20）。按其行走装置的不同，分为履带式和轮胎式两种。按其传动方式的不同，分为机械和液压传动两种。单斗挖掘机可挖掘基坑、沟槽，清理和平整场地；更换工作装置后还可以进行装卸、起重、打桩等作业任务，是施工中很重要的机械设备之一。



(a) 正铲　(b) 反铲　(c) 拉铲　(d) 抓铲

图 1.20　单斗挖土机工作装置的类型

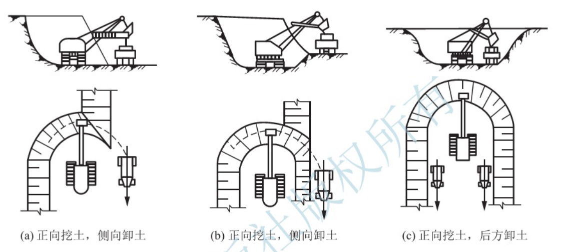
1) 正铲挖土机

正铲挖土机的挖掘力大，能挖掘坚硬土层，易控制开挖尺寸，装车轻便、灵活，回转速度快，移位方便。其挖土特点是“前进向上，强制切土”。其挖土强度大，装车效率高，易与汽车配合，适用于开挖停机面以上的一至四类土。开挖大型基坑时需设坡道，挖土机在坑内作业，因此，适宜在土质较好、无地下水的地区工作；当地下水位较高时，应采取降低地下水位的措施，把基坑中的土疏干。

根据挖土机的开挖路线与汽车的相对位置不同，其卸土方式有“正向挖土，侧向卸土”和“正向挖土，后方卸土”两种。

(1) 正向挖土，侧向卸土 [图 1.21(a)、(b)]。即挖土机沿前进方向挖土，运输车辆停在侧面卸土。此法挖土机卸土时动臂转角小，运输车辆行驶方便，循环时间短，故生产效率高。用于开挖工作面较大，深度不大的边坡、基坑（槽）、沟渠和路堑等。

(2) 正向挖土，后方卸土 [图 1.21(c)]。即挖土机沿前进方向挖土，运输车辆停在挖土机后方装土。此法挖土机开挖工作面较大，卸土时动臂转角大、生产效率低，运输车辆要倒车进入。一般用于窄而深的基坑（槽）、管沟和路堑等。



(a) 正向挖土，侧向卸土　　(b) 正向挖土，侧向卸土　　(c) 正向挖土，后方卸土

图 1.21　正铲挖土机的开挖方式

2) 反铲挖土机

反铲挖土机的挖土特点是“后退向下，强制切土”。其挖掘力比正铲小，操作灵活，挖土、卸土均在地面作业，能开挖停机面以下的一至三类土（机械传动反铲只宜挖一、二类土）。不需设置进出口通道，适用于一次开挖深度在 4m 左右的基坑、基槽、管沟，也可用于地下水位较高的土方开挖；较大、较深基坑可用多层接力挖土。

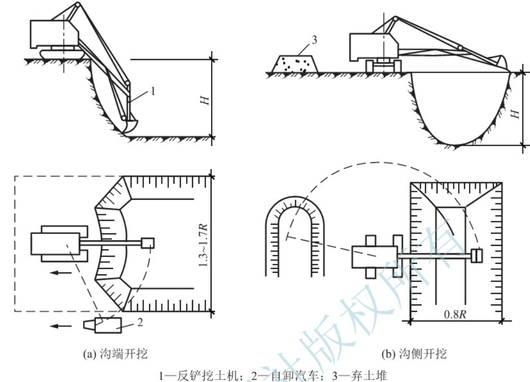
根据挖掘机的开挖路线与运输汽车的相对位置不同，一般有以下两种开挖方式。

(1) 沟端开挖 [图 1.22(a)]。挖土机停在基坑（槽）的端部，向后倒退挖土，汽车停在基槽两侧装土。其优点是挖土机停放平稳，装土或甩土时回转角度小，挖土效率高，挖的深度和宽度也较大。基坑较宽时，可多次开行开挖 [图 1.22(a)]。沟端开挖适用于一次成沟后退挖土，挖出土方随即运走时采用，或就地取土填筑路基或修筑堤坝等。

(2) 沟侧开挖 [图 1.22(b)]。挖土机沿基槽的一侧移动挖土，汽车停在挖土机旁装土或往沟一侧卸土，本法铲臂回转角度小，能将土弃于距基槽较远处。沟侧开挖时开挖方向与挖土机移动方向相垂直，同时机身靠沟边停放，所以稳定性较差。挖土宽度比挖掘半径小，边坡不好控制，而且挖的深度和宽度均较小，因此本法一般只在无法采用沟端开挖或挖土不需运走时采用。

3) 拉铲挖土机

拉铲挖土机（图 1.23) 的土斗用钢丝绳悬挂在挖土机长臂上，挖土时土斗在自重作用下落到地面，切入土中。其挖土特点是“后退向下，自重切土”。其挖土深度、挖土半径和卸土半径均较大，操纵灵活性较差，能开挖停机面以下的一至三类土。拉铲挖土机适用于开挖较深、较大的基坑（槽）、沟渠，挖取水中泥土、填筑路基及修筑堤坝等。拉铲挖土机的开挖方式与反铲挖土机的开挖方式相似，可沟侧开挖，也可沟端开挖。



(a) 沟端开挖　　(b) 沟侧开挖

1—反铲挖土机；2—自卸汽车；3—弃土堆

图 1.22　反铲挖土机的开挖方式

4）抓铲挖土机

机械传动抓铲挖土机（图 1.24）是在挖土机的臂端用钢丝绳吊装一个抓斗，钢绳牵拉灵活性较差，工效不高，不能挖掘坚硬土；可以装在简易机械上工作，使用方便。其挖土特点是“直上直下，自重切土”。其挖掘力较小，能开挖停机面以下的一、二类土。抓铲挖土机适用于开挖软土地基基坑，特别是窄而深的基坑、深槽、深井采用抓铲效果理想；抓铲还可用于疏通旧有渠道以及挖取水中淤泥等，或用于装卸碎石、矿渣等松散材料。抓铲也有采用液压传动操纵抓斗作业，其挖掘力和精度优于机械传动抓铲挖土机。

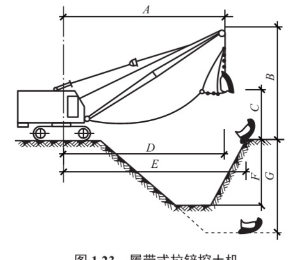


图 1.23　履带式拉铲挖土机

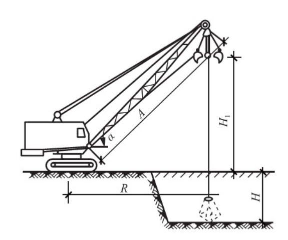


图 1.24　履带式抓铲挖土机

1.4.2 土方机械的选择和配合

1. 土方机械选择

(1) 平整场地。平整场地一般需要经过土方的开挖、运输、填筑和压实等工序。地势较平坦、含水量适中的大面积平整场地，选用铲运机较适宜。地形起伏较大，挖方、填方量大且集中的平整场地，运距在1000m以上时，可选择正铲挖土机配合自卸车进行挖土、运土，在填方区配备推土机平整及压路机碾压施工。挖、填方高度均不大，运距在100m以内时，采用推土机施工，较为灵活、经济。

(2) 地面上的坑式开挖。单个基坑和中小型基础基坑开挖，在地面上作业时，多采用抓铲挖土机和反铲挖土机。抓铲挖土机适用于一、二类土质和较深的基坑；反铲挖土机适于四类以下土质，深度在4m以内的基坑。

(3) 长槽式开挖。在地面上开挖具有一定截面、长度的基槽或沟槽，如适于挖大型厂房的柱列基础和管沟，宜采用反铲挖土机；若为水中取土或土质为淤泥，且坑底较深，则可选择抓铲挖土机挖土；若土质干燥，槽底开挖不深，基槽长30m以上，可采用推土机或铲运机施工。

(4) 整片开挖。大型浅基坑且基坑土干燥时，可采用正铲挖土机开挖；若基坑内土潮湿，则采用拉铲或反铲挖土机，可在坑上作业。

(5) 对于独立柱基础的基坑及小截面条形基础基槽的开挖，则采用小型液压轮胎式反铲挖土机配以翻斗车来完成浅基坑（槽）的挖掘和运土。

2. 挖土机和运土车辆配套计算

采用单斗（反铲等）挖土机施工时，需用运土车辆配合，将挖出的土随时运走。因此，挖土机的生产率，不仅取决于挖土机本身的技术性能，而且还应与所选运土车辆的运土能力相协调。为使挖土机充分发挥生产能力，应配备足够数量的运土车辆，以保证挖土机的连续工作。

1) 挖土机数量的确定

挖土机的数量N（台），应根据土方量大小和工期要求来确定，可按式(1-19)计算：

$$N=\frac{Q}{P}\times\frac{1}{TCK} \tag{1-19}$$

式中 Q——土方量(m^3)；

P——挖土机生产率(m^3/台班)；

T——工期（工作日）；

C——每天工作班数；

K——时间利用系数(0.8～0.9)。

单斗挖土机的生产率P(m^3/台班)，可查定额手册或按式(1-20)计算：

$$P=\frac{8\times3600}{t}\times q\times\frac{K_c}{K_S}\times K_B \tag{1-20}$$

式中 t——挖土机每斗作业循环延续时间（s），如 W100 正铲挖土机为 25 ～ 40s；

q——挖土机斗容量（m^3）；

K_c——土斗的充盈系数（0.8 ～ 1.1）；

K_S——土的最初可松性系数；

K_B——工作时间利用系数（0.7 ～ 0.9）。

2）运土车辆配套计算

运土车辆的数量 N_1，应保证挖土机连续作业，可按式（1-21）计算：

$$N_1 = \frac{T_1}{t_1} \tag{1-21}$$

$$T_1 = t_1 + \frac{2l}{V_c} + t_2 + t_3 \tag{1-22}$$

$$n = \frac{Q_1}{q \times \frac{K_c}{K_S} \times r} \tag{1-23}$$

式中 T_1——运土车辆每一运土循环延续时间（min）；

l——运土距离（m）；

V_c——重车与空车的平均速度（m/min），一般取 20 ～ 30km/h；

t_2——卸土时间，一般为 1min；

t_3——操纵时间（包括停放待装、等车、让车等），一般取 2 ～ 3min；

t_1——运土车辆每车装时间（min），$t_1=nt$；

n——运土车辆每车装土次数；

Q_1——运土车辆的载重量（t）；

r——实土重度（t/m^3），一般取 $1.7t/m^3$。

3. 土方机械施工要点

（1）土方开挖应绘制土方开挖图，确定开挖路线、顺序、范围、基底标高、边坡坡度、排水沟、集水井位置，以及挖出的土方堆放地点等。绘制土方开挖图应尽可能使机械多挖，减少机械超挖和人工挖方。

（2）大面积基础群基坑底标高不一，机械开挖次序一般采取先整片挖至平均标高，然后再挖个别较深部位。当一次开挖深度超过挖土机最大挖掘高度（5m 以上）时，宜分 2 ～ 3 层开挖，并修筑 10% ～ 15% 的坡道，以便挖土机及运输车辆进出。

（3）基坑边角部位，机械开挖不到之处，应用少量人工配合清坡，将松土清至机械作业半径范围内，再用机械掏取运走。人工清土所占比例一般为 1.5% ～ 4%，修坡以厘米作限制误差。大基坑宜另配一台推土机清土、送土、运土。

（4）挖掘机、运土汽车进出基坑的运输道路，应尽量利用基础一侧或两侧相邻的基础（以后需开挖的）部位，使它互相贯通作为车道，或利用提前挖除土方后的地下设施部位作为相邻的几个基坑开挖地下运输通道，以减少挖土量。

（5）机械开挖应由深而浅，基底及边坡应预留一层 150 ～ 300mm 厚的土层，用人工

清底、修坡、找平，以保证基底标高和边坡坡度正确，避免超挖和土层遭受扰动。

(6) 做好机械的表面清洁和运输道路的清理工作，以提高挖土和运输效率。

(7) 基坑土方开挖可能影响邻近建筑物、管线的安全使用时，必须有可靠的保护措施。

(8) 机械开挖施工时，应保护井点、支撑等不受碰撞或损坏，同时应对平面控制桩、水准点、基坑平面位置、水平标高、边坡坡度等定期进行复测检查。

(9) 雨季开挖土方，工作面不宜过大，应逐段分期完成。如为软土地基，进入基坑行走时需铺垫钢板或铺路基箱垫道。坑面、坑底排水系统应保持良好；汛期应有防洪措施，防止雨水浸入基坑。冬期开挖基坑，如挖完土隔一段时间，施工基础需预留适当厚度的松土，以防基土遭受冻结。

1.5 土方的填筑与压实

1.5.1 土方的填筑

为了使填土满足强度和稳定性两方面的要求，保证填土工程的质量，必须正确选择土料和填筑方法。

1. 土料要求

(1) 碎石类土、砂土和爆破石渣，可用于表层下的填料。

(2) 含水量符合压实要求的黏性土，可用作各层填料。

(3) 碎块草皮和有机质含量大于 8% 的土，仅用于无压实要求的填方。

(4) 淤泥和淤泥质土，一般不能用作填料，但在软土或沼泽地区，经过处理后含水量符合压实要求的，可用于填方中的次要部位。

2. 填筑要求

(1) 回填以前，应清除填方区的积水、草皮和杂物，如遇软土、淤泥，则必须进行换土。应对填方基底和已完隐蔽工程进行检查和中间验收，并做好隐蔽工程记录。

(2) 填土前，应根据工程特点、填料厚度和压实遍数、施工条件等合理选择压实机具，并确定填料含水量控制范围、铺土厚度和压实遍数等施工参数。

(3) 填土施工应接近水平地分层填土、压实。压实后测定土的干密度，检验其压实系数和压实范围符合设计要求后，才能填筑上层。填土应尽量采用同类土填筑。若采用不同填料分层填筑时，上层宜填筑透水性较小的填料，下层宜填筑透水性大的填料；填方基土表面应做成适当的排水坡度，边坡不得用透水性较小的填料封闭，以免填方内形成水囊。若因施工条件限制，上层必须填筑透水性较大的填料时，应将下层透水性较小的土层表面做成适当的排水坡度或设置盲沟。

(4) 填方应按设计要求预留沉降量。若设计无要求，可根据工程性质、填方高度、填料种类、压实系数和地基情况等，与业主单位共同确定（沉降量一般不超过填方高度的 3%）。

(5) 填方施工应从场地最低处开始，水平分层、整片回填压实。分段填筑时，每层接缝处应做成斜坡形状，碾迹重叠 0.5 ～ 1.0m。上、下接缝应错开不小于 1.0m，且接缝部位不得在基础下、墙角、柱墩等重要部位。

1.5.2 土方的压实

1. 填土的压实方法

填土的压实方法一般有碾压、夯实和振动压实，如图 1.25 所示。对于大面积填土工程，多采用碾压和利用运土工具压实。对较小面积的填土工程，则宜用夯实机具进行压实。

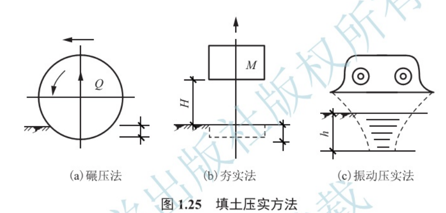


图 1.25 填土压实方法

1) 碾压法

碾压法是利用沿着表面滚动的鼓筒或轮子的压力压实土壤，使之达到所需的密实度。一切拖动和自动的碾压机械，如平碾、羊足碾等，都属于这一类。碾压法主要用于大面积的填土，如场地平整、路基、堤坝等工程。

平碾按重量等级分为轻型（30 ～ 50kN）、中型（60 ～ 90kN）和重型（100 ～ 140kN）三种，适于压实砂类土和黏性土，适用土类范围较广（图 1.26）。

羊足碾是在滚轮表面装有许多羊足形滚压件，用拖拉机牵引，其单位面积压力大，压实效果、压实深度均较平碾高。羊足碾适用于压实黏性土（图 1.27）。



图 1.26 平碾压路机



图 1.27 羊足碾压路机

用碾压法压实填土时，铺土应均匀一致，碾压遍数要一样，碾压方向应从填土区的

两边逐渐压向中心，每次碾压应有 15 ～ 20cm 的重叠。碾压机械开行速度不宜过快，一般平碾不应超过 2km/h，羊足碾宜控制在 3km/h 之内，否则会影响压实效果。

2）夯实法

常用的夯实机械有夯锤和蛙式打夯机等。蛙式打夯机具有体积小、操作轻便等优点，适用于基坑（槽）、管沟以及各种零星分散、边角部位的小型填方的夯实工作（图 1.28）。对于松填的特厚土层，也可采用重锤夯、强夯等方法。

3）振动压实法

振动压实法是将振动压实机放在土层表面，借助振动机构使压实机振动土颗粒，土的颗粒发生相对位移而达到紧密状态。振动的时间越长，效果越好。用这种方法振实非黏性土效果较好。如图 1.29 所示为平板振动器。

随着压实机械的发展，近年来，将碾压和振动法结合起来而设计和制造了振动平碾、振动凸块碾等新型压实机械。振动平碾适用于填料为爆破碎石渣、碎石类土、杂填土或轻亚黏土的大型填方；振动凸块碾则适用于亚黏土或黏土的大型填方。当压实爆破石渣或碎石类土时，可选用重 8 ～ 15t 的振动平碾，铺土厚度为 0.6 ～ 1.5m，先静压，后振动碾压，碾压遍数由现场试验确定，一般为 6 ～ 8 遍。



图 1.28　蛙式打夯机　　**图 1.29　平板振动器**

2. 填土压实的影响因素

填土压实质量与许多因素有关，其中主要的影响因素为压实功、土的含水量以及每层铺土的厚度。

1）含水量的影响

在一定的压实功下，填土土料含水量的大小直接影响压实质量（图 1.30）。含水量过小时，土颗粒之间的摩阻力较大，不容易夯实（碾压）；含水量过大时，土颗粒之间的空隙全部被水充满，压实土体时，由于水分的隔离，压实机械所做的功不能有效地作用在土颗粒上，土反而不易压实，而变成橡皮土。

在夯实（碾压）前应先试验，以得到符合密实度要求条件下的最优含水量和最少夯实（或碾压）遍数。一般黏性土料的施工含水量与最优含水量之差可控制在 -4% ～ +2%

范围内（使用振动碾时，可控制在 -6% ～ +2% 范围内）。当含水量过大时，应采取翻松、晾干、风干、换土回填、掺入干土或其他吸水性材料等措施；如土料过干，则应预先洒水润湿，当含水量过小时，也可采取增加压实遍数或使用大功率压实机械等措施。

2）压实功的影响

填土压实后的密度与压实机械在其上所施加的功有一定的关系，如图 1.31 所示，但并不成正比例关系。

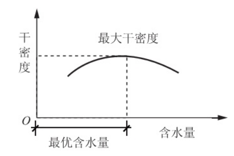


图 1.30　土的含水量与干密度关系图

密度（t/m³）

所耗的功（J）

图 1.31　土的密实度与压实功的关系

当土的含水量一定时，在开始压实时，土的密度急剧增加。等到接近土的最大干密度时，压实功虽然增加很多，而土的密度则变化很小。因此，实际施工时，应根据不同的土料及其要求压实的密实程度和不同的压实机械来决定填土压实的遍数，表 1-10 是填土施工时的分层厚度及压实遍数的参考数据。

表 1-10　填土施工时的分层厚度及压实遍数

压实机具	分层厚度 /mm	每层压实遍数
平碾	250 ～ 300	6 ～ 8
振动压实机	250 ～ 350	3 ～ 4
柴油打夯机	200 ～ 250	3 ～ 4
人工打夯	不大于 200	3 ～ 4

3）铺土厚度的影响

在压实功作用下，土中的应力随深度增加而逐渐减小，其压实作用也随土层深度的增加而逐渐减小。铺得过厚，要压很多遍才能达到规定的密实程度；铺得过薄，也会增加机械的总压实遍数。因此，填土压实时每层铺土厚度的确定应根据所选用的压实机械和土的性质，在保证压实质量的前提下，使填方压实机械的功耗最小。一般铺土厚度可按表 1-10 参考选用。

3. 填土质量检查

填土压实后必须要达到密实度要求。填土密实度以设计规定的控制干密度 ρ_d 或规定的压实系数 λ_c 作为检查标准。土的控制干密度与最大干密度之比称为压实系数。

1）控制干密度

土的最大干密度乘以规范规定或设计要求的压实系数，即可计算出填土控制干密度 ρ_d 的值。

$$\rho_d=\lambda_c\rho_{dmax} \tag{1-24}$$

填方施工前，应先求得现场各种土料的最大干密度。土的最大干密度可由实验室击实试验确定。土的实际干密度可用“环刀法”测定，或用小轻便触探仪直接通过锤击数来检验干密度和密实度。

密实度要求一般由设计根据工程结构性质、使用要求以及土的性质确定。不同的填方工程，设计要求的压实系数不同：一般的场地平整，其压实系数为0.9左右；地基填土，其压实系数为0.91～0.97。

填土压实后所测得的实际干密度不应小于设计控制干密度；否则，应采取相应措施，提高压实质量。压实后的干密度应有90%以上符合设计要求，其余10%的最低值与设计值之差不得大于0.08g/cm^3，且不得集中。

2）填土取样

基坑和室内填土，每层按100～500m^{2}取样1组；场地平整填方，每层按400～900m^{2}取样1组；基坑和管沟回填，每20～50m取样1组，但每层均不少于1组，取样部位在每层压实后的下半部。填方施工结束后，应检查标高、边坡坡度、压实程度等符合规范要求。

本章小结

土石方是工程建设的第一步。通过本章学习，应掌握土的基本性质、场地平整的基本原则、场地设计标高的确定和土方量的计算方法；理解土方调配的原则；熟悉土料选择与填筑要求、填土压实方法和影响因素；了解常用土方施工机械的性能及其选择与配合，为以后的工程实践做好理论准备工作。

习　　题

一、简答题

1. 进行土方规划时应考虑什么原则？试述土方工程的特点。
2. 试述土的可松性及其对土方规划的影响。
3. 试述按挖、填平衡确定H_0的步骤和方法。
4. 试述场地有单向、双向泄水坡度土方量和土边坡土方量的计算方法。
5. 土方调配应遵循哪些原则？调配区如何划分？如何确定平均运距？
6. 影响填土压实的主要因素有哪些？如何检查填土压实的质量？
7. 常用的土方机械有哪些？试述其工作特点及适用范围。

二、计算题

1. 某场地平整有 4000m³ 的填方量需从附近取土填筑，其土质为密实的砂黏土，试计算：

(1) 填土的挖方量；

(2) 已知运输工具的斗容量为 2m³，需要运多少车次？

2. 某建筑场地方格网如图 1.32 所示。方格边长 20m，要求场地排水坡度 i_x=2‰，i_y=3‰。试求挖、填平衡各脚点的施工高度并绘出零线。

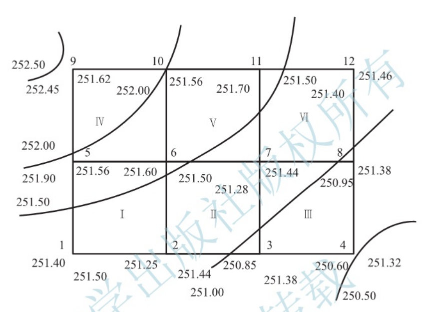


图 1.32　某场地建筑方格网

3. 已知某场地的挖方区为 W_1、W_2、W_3，填方区为 T_1、T_2、T_3，其挖填方量及其第一调配区的平均运距见表 1-11。

表 1-11　填、挖土方平衡及运距表

填方区 / 挖方区	T_1	T_2	T_3	挖方量 /m³
W_1	40	80	90	1000
W_2	60	50	100	1400
W_3	70	120	60	1200
填方量 /m³	1500	1200	900	3600

(1) 试用“表上作业法”求其土方量的最优调配方案，并用位势法检验。

(2) 绘出土方调配图。

第2章 基坑工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
基坑降水排水	掌握	流砂、管涌及其防治，排除地下水、降低地下水的方法及适用条件，轻型井点计算
土方边坡与土壁支护	掌握	土方边坡坡度和边坡稳定、基坑支护结构的类型及适用范围
深基坑支护与结构施工	了解	深基坑工程范畴及工程特点、深基坑支护类型与各支护类型的施工工艺、施工特点及施工范围

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
轻型井点降水的井点布置设计和计算	掌握	根据实际情况进行轻型井点降水设计，合理地进行井点管的布置

案例导航

如下图所示，为一施工现场发生的基坑塌方事故。



本章问题讨论

仔细观察上图，想一想是由于什么原因导致了基坑塌方？在基坑开挖过程中如何保证基坑不发生失稳？

2.1 流砂、管涌及其防治

2.1.1 流砂

粒径很小、无塑性的土壤，在动水压力推动下，极易失去稳定而随地下水一起涌入坑内，形成流砂现象。发生流砂现象时，土完全丧失承载力，施工人员难以立足，施工条件恶化，土边挖边冒，很难挖到设计深度。流砂严重时，会引起基坑边坡塌方，如果附近有建筑物，就会因地基被掏空而使建筑物下沉、倾斜，甚至倒塌。

流砂发生的原因：产生流砂现象的原因有内因和外因。内因取决于土壤的性质，土的孔隙度大、含水量大、黏粒含量少、粉粒多等均容易产生流砂现象。因此，流砂现象经常发生在细砂粉和亚砂土中。会不会发生流砂现象，还应具备一定的外因条件，即地下水及其产生动水压力的大小。

当水由高水位处流向低水位处时，水在土中渗流过程中受到土颗粒的阻力，同时水对土颗粒也作用一个压力，这个压力叫做动水压力 G_D。动水压力与水的重力密度和水力坡度有关，其计算式为

$$G_D=\gamma_w I \tag{2-1}$$

式中　G_D——动水压力（kN/m^3）；

γ_w——水的重力密度；

I——水力坑坡度［等于水位差除以渗流路线长度，$I=(h_1-h_2)/L$］。

当地下水位较高，基坑内排水所造成的水位差较大时，动水压力也越大；当 $G_D \geqslant \gamma'_w$（浮土重度）时，就会推动土壤失去稳定，土颗粒便会被带出而形成流砂现象。

通常情况下，当地下水位越高，坑内外水位差越大时，动水压力也越大，越容易发生流砂现象（图 2.1）。通常在可能发生流砂的土质中，当基坑挖深超过地下水位线 0.5m 左右时，就要注意防止流砂的发生。



图 2.1　流砂

2.1.2 管涌

当基坑坑底位于不透水层内，而其下面为承压水的透水层，基坑不透水层的覆盖厚度的重力小于承压水的顶托力时，基坑底部便可能发生管涌、冒砂现象（图 2.2），即

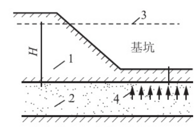
$$H\gamma_w > h\gamma \tag{2-2}$$

式中 H——压力水头（m）；

γ_w——水的重力密度（kg/m³）；

h——坑底不透水层厚度（m）；

γ——土的密度（kg/m³）。



1—不透水层；2—透水层；3—压力水位线；4—承压水的顶托力

图 2.2 管涌冒砂

2.1.3 流砂、管涌的防治

发生流砂、管涌现象的重要条件是动水压力的大小与方向。流砂、管涌的防治原则可概括为“治砂先之治水”。流砂、管涌防治的主要途径是减少或平衡动水压力或改变其方向。因此，在基坑开挖中，防止流砂、管涌的途径有两种。

1）减小或平衡动水压力

2）使动水压力的方向向下，或是截断地下水流

其具体措施如下：

(1) 在枯水期施工。因地下水位低，坑内外水位差小，动水压力小，此时不易发生流砂、管涌现象。

(2) 抛大石块。往基坑底抛大石块，增加土的压重，以平衡动水压力。用此法时，应组织人力分段抢挖，使挖土速度超过冒砂速度，挖至标高后立即铺设芦席，并抛大石块把流砂压住。

(3) 设止水帷幕法（图 2.3）。将连续的止水支护结构（如连续板桩、深层搅拌桩、密排灌注桩、地下连续墙等）设置于基坑底面以下一定深度，形成封闭的止水帷幕，从而使地下水只能从支护结构下端向基坑渗流，增加地下水从坑外流入基坑内的渗流路径，减小水力坡度，降低动水压力，防止流砂发生。

(4) 水下挖土。即采用不排水施工，使基坑内水压与外水压相平衡，防止流砂现象的发生。

(5) 井点降低地下水位（图 2.3）。如采用轻型井点或管井井点等降水方法，使地下水的渗流向下，动水压力的方向也朝下，增大了土粒间的压力，从而可有效地防止流砂现象的发生。这个方法采用较广泛，并比较可靠。

(6) 冻结法。将出现流砂、管涌区域的土进行冻结，阻止地下水的渗流，以防止流砂、管涌发生。

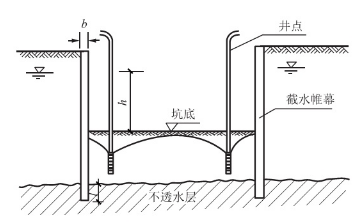


图 2.3 设止水帷幕和井点降水防治流砂和管涌

2.2 施工排水与降水

开挖基坑或沟槽时，为了保持基坑干燥，避免施工条件恶化，防止由于水浸泡发生边坡塌方和地基承载力下降，必须做好排水、降水工作。常采用的措施可分为排除地面水和降低地下水两类，其中降低地下水的方法主要有集水井降水、井点降水。

2.2.1 排除地面水

1. 排除地面水的常用方法

排除地面水通常可采用截、疏、抽的方法。截，是截住水流；疏，是疏干积水；抽，是在基坑开挖过程中，在基底设置集水井，并沿坑底的周围开挖排水沟，使水流入集水井中，然后用水泵抽走。

2. 排水应注意的问题

(1) 在山坡地区施工，应在较高一面的山坡上，先做好永久性截水沟，或设置临时截水沟，阻止山坡水流入施工现场。

(2) 设置排水沟时应尽量利用自然地形，以便将水直接排至场外，或流至低洼处，再用水泵抽走。一般排水沟的横断面不小于 0.5m×0.5m。纵向坡度应根据地形确定：一般不应小于 3‰；平坦地区，不小于 2‰；沼泽地区可减至 1‰。

(3) 在平坦地区施工时，除开挖排水沟外，必要时还需修筑土堤，以阻止场外水流入施工场地。

2.2.2 降低地下水

开挖底面低于地下水位的基坑或者开挖基础较深时，地下水会不断渗入坑内。雨期

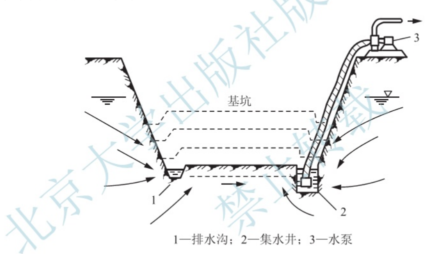
施工时，地面水也会流入坑内。如果流入坑内的水不及时排走，不但会使施工条件恶化，而且更严重的是土被水泡软后，会造成边坡塌方和坑底土的承载能力下降。因此，在基坑开挖前和开挖时，做好排水工作，保持土体干燥，是十分重要的。

降低地下水的方法可分为明排水法和井点降水两种。

1. 明排水法

明排水法是在基坑开挖过程中，在坑底设置集水井，并沿坑底的周围或中央开挖排水沟，使水流入集水井中，然后用水泵抽走（图 2.4）。抽出的水应予引开，以防倒流。雨季施工时，应在基坑四周或水的上游开挖截水沟或修筑土堤，以防地面水流入坑内。

集水井应设置在基础范围以外地下水的上游。根据地下水量大小、基坑平面形状及水泵能力，集水井每隔 20 ～ 40m 设置一个。集水井的直径或宽度一般为 0.6 ～ 0.8m。排水沟和集水井随着挖土深度的加深而加深，并保持沟底低于基坑底 0.3 ～ 0.5m，集水井要经常保持低于挖土面 0.7 ～ 1m。集水井壁用竹笼、木板加固。当基坑挖至设计标高后，集水井底应低于基坑底 1 ～ 2m，并铺设碎石滤水层，以免在抽水时间较长时将泥砂抽走，并防止集水井底的土被搅动。



1—排水沟；2—集水井；3—水泵

图 2.4　集水井降水

1）施工特点

本方法施工方便，设备简单，降水费用低，管理维护容易，应用普遍。

2）施工条件

主要适用于土质情况较好，地下水不很大，一般基础及中等面积基础群和建（构）筑物基坑（槽、沟）的排水。明沟排水法适用于水流较大的粗粒土层的排水、降水，也可用于渗水量较小的黏性土层降水，但不适宜于细砂土和粉砂土层，因为地下水渗出会带走细粒而发生流砂现象，此时应采用井点降水的方法。

2. 井点降水

井点降水是在基坑开挖前，先在基坑四周埋设一定数量的滤水管（井），在基坑开挖前和开挖过程中，利用抽水设备不断抽出地下水，使地下水位降到坑底以下，直至基础工程施工完毕为止。这样，可使基坑挖土始终保持干燥状态，从根本上消除了流砂现象，

改善了工作条件。同时，由于土层水分排除后，还能使土密实，增加地基土的承载能力。

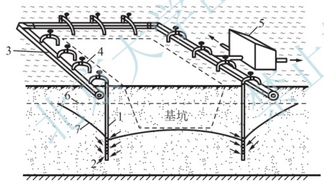
井点降水的方法有轻型井点、多级轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井井点及深井井点等。其中以轻型井点、管井井点采用较广。施工时可根据土层的渗透系数、要求降低水位的深度、设备条件及经济性比较等因素，参照表 2-1 选用。

表 2-1　降水类型及适用条件

适合条件的降水类型	渗透系数 /(m/d)	可能降低的水位深度 /m
轻型井点	0.1 ～ 50	3 ～ 6
多级轻型井点	0.1 ～ 50	6 ～ 12
喷射井点	0.1 ～ 2	8 ～ 20
电渗井点	＜ 0.1	根据井点确定，宜配合其他形式降水使用
管井井点	20 ～ 200	3 ～ 5
深井井管	10 ～ 250	＞ 15

1) 轻型井点

轻型井点就是沿基坑周围或一侧以一定间距将井点管（下端为滤管）埋入蓄水层内，井点管上部与总管连接，利用抽水设备将地下水经滤管进入井管，经总管不断抽出，从而将地下水位降至坑底以下，如图 2.5 所示。





1—井点管；2—滤管；3—集水总管；4—弯联管；5—水泵房；6—原地下水位线；7—降低后的地下水位线

图 2.5　轻型井点全貌图

(1) 轻型井点设备。轻型井点设备主要是由管路系统和抽水设备组成。其中管路系统包括井点管、滤管、弯联管、集水总管。

滤管的构造如图 2.6 所示，它是地下水的吸入口，长 1.0 ～ 1.5m，外径为 38 ～ 51mm 的无缝钢管，管壁上钻有直径为 12 ～ 18mm 的滤水孔，呈梅花形排列，滤孔面积是滤管表面积的 20% ～ 25%，外包两层滤网。为使吸水顺畅，避免滤孔淤塞，在管壁与滤网之间用金属丝绕成螺旋形隔开，滤网的最外面再绕一层粗金属网。滤管的上端与井点管相连，下端有一铸铁头，便于插入土层并阻止泥砂进入。

井点管是直径为 38 ～ 50mm、长为 5 ～ 7m（一般为 6m）的无缝钢管，可采用整根或分节组成。井点管下端与滤管相连。上端用弯联管与集水总管相连，弯联管可用塑料

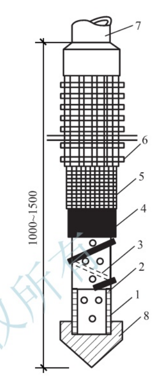
管连接或采用 90° 弯头连接。其上装有阀门，以便调节和检修井点。

集水总管的直径一般为 75 ～ 100mm，每段长 4m，上面装有与井点管连接的短接头，接头间距为 0.8m、1.0m、1.2m、1.6m 等。总管应有 2.5‰～ 5‰坡向泵房的坡度。

轻型井点设备的抽水机常用的有真空泵井点设备和射流泵井点设备两种。

①真空泵井点设备由真空泵、离心泵和水气分离器（又叫集水箱）等组成。这种真空井点真空度高，带动井点数多，降水深度较大，但设备复杂，维修、管理困难，耗电多，适用于较大的工程降水。

②射流泵井点设备由离心水泵、射流器（射流泵）、水箱等组成，设备构造简单，制造容易，使用维修方便，耗能少，成本较低，便于推广。但射流泵井点排气量较小，真空度的波动较敏感，易于下降，所以施工时要特别注意管路密封，否则会降低抽水效果。

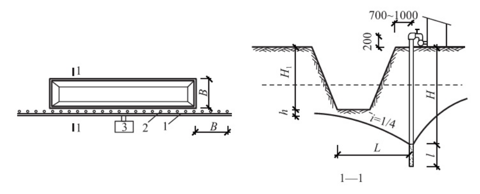


1—钢管；2—管壁上的孔；3—塑料管；4—细滤网；5—粗滤网；6—粗铁丝；7—井点管；8—铸铁头

图 2.6　滤管构造

(2) 轻型井点布置。轻型井点系统的布置，应根据基坑平面形状及尺寸、基坑的深度、土质、地下水位高低与流向、降水深度要求等因素确定。

①平面布置。当基坑或沟槽宽度小于 6m 且降水深度不超过 5m 时，可采用单排井点（图 2.7）。井点管应布置在地下水的上游一侧，两端延伸长度以不小于坑（槽）的宽度为准。若基坑宽度大于 6m 或土质不良时，宜采用双排井点。位于地下水上游一排井点管的间距应小些，下游一排井点的间距应大点。对于面积较大的基坑，其宽度大于 15m，当基坑长度 (L) 与宽度 (B) 之比 $L/B \leqslant 5$、降水深度 (S) $\leqslant$ 5m 时，可采用单环形井点布置；当 $L/B > 5$ 时，可布置成双环形，环形井点的四周应加密。为防止抽水时发生局部漏气，要求井管距井壁边缘一般保持在 800 ～ 1600mm。



1—集水总管；2—井点管；3—抽水设备

图 2.7　单排井点布置

②高程布置。轻型井点的降水深度理论上可达 10.3m，但由于降水系统的水头损失，实际降水深度一般不大于 6m。

对井点系统进行高程布置时，应考虑井点管的标准长度、井点管露出地面的长度（0.2 ～ 0.3m），以及滤管必须在透水层内。

井点管的埋设深度 H_1 可按下式计算（图 2.8）：

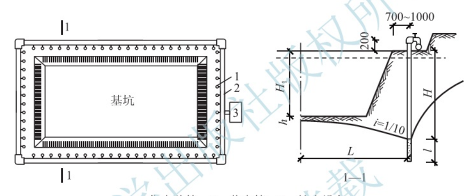
$$H=H_1+h+il \tag{2-3}$$

式中　H——井点管埋置面至基坑底面的距离（m）；

H_1——基坑底面至降低后的地下水位线的距离，一般取 0.5 ～ 1m；

i——水力坡度，单排井点取 1/4，环形井点取 1/10；

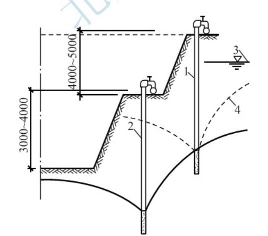
l_1——对于双排和环形井点，为井点管至基坑中心的水平距离；对于单排井点，为井点管至基坑另一侧的水平距离（m）。



1—集水总管；2—井点管；3—抽水设备

图 2.8　井点管的布置

按式（2-3）计算出的 H 值若小于降水深度 6m，则采用一级井点降水；H 值若稍大于降水深度 6m，如降低井点管的埋置面后，可满足降水深度的要求时，仍可采用一级井点降水；当采用一级井点达不到降水深度时，则可采用二级轻型井点（图 2.9）或喷射井点。



1—第一层井点管；2—第二层井点管；
3—原地下水位线；4—降低后的地下水位线

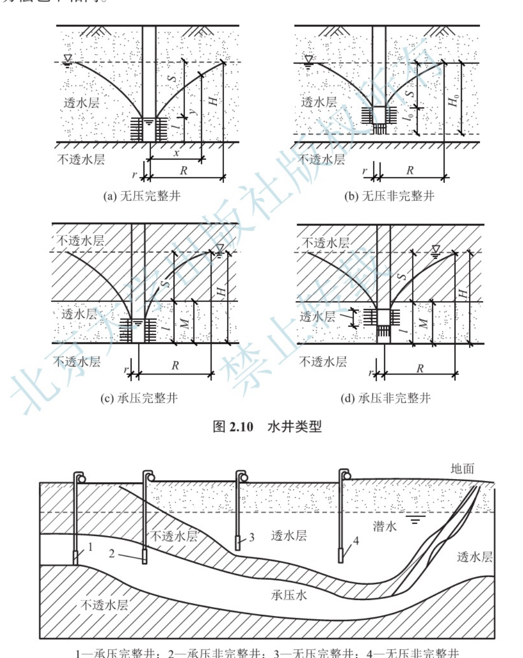
图 2.9　二级轻型井点

（3）轻型井点计算。井点系统的设计计算，必须建立在可靠资料的基础上，如施工现场图、水文地质勘察资料、基坑的设计资料等。

设计内容除系统的布置外，还需确定井点的数量、间距、井点设备的选择等。

轻型井点的计算内容主要包括涌水量计算、井点管数量与间距的确定、抽水设备的选择等。井点计算由于受水文地质条件和井点设备等许多不确定因素的影响，目前计算出的数值只是近似值。

①涌水量计算。井点系统涌水量以水井理论为依据进行计算。水井根据其井底是否到达不透水层，分为完整井与非完整井。井底到达不透水层的称为完整井［图 2.10(a)、(c)］，否则为非完整井［图 2.10(b)、(d)］。根据地下水有无压力，水井又有承压井与无压井（潜水井）之分。凡水井布置在两层不透水层之间充满水的含水层内，因地下水具有一定的压力，该井称为承压井［图 2.10(c)、(d)］；若水井布置在潜水层内，此种地下水无压力，这种井称为无压井［图 2.10(a)、(b)］。因此，水井大致可分为四种：无压完整井、无压非完整井、承压完整井、承压非完整井（图 2.11)。水井类型不同，其涌水量的计算方法也不相同。



(a) 无压完整井　(b) 无压非完整井

(c) 承压完整井　(d) 承压非完整井

图 2.10　水井类型

1—承压完整井；2—承压非完整井；3—无压完整井；4—无压非完整井

图 2.11　水井类型

a. 无压完整井的涌水量计算。

无压完整井的涌水量 Q 为

$$Q = 1.366k\frac{(2H-S)S}{\lg R - \lg x_0} \tag{2-4}$$

式中 Q——涌水量（m^3/d）；

k——渗透系数（m/d）；

H——含水层厚度（m）；

h——井内水深（m）；

S——水位降低值，$S=H-h$；

R——抽水影响半径（m），可近似按下述经验公式计算

$$R = 1.95S\sqrt{Hk} \tag{2-5}$$

x_0——基坑假想半径（m），可按下式计算

$$x_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \tag{2-6}$$

式中 F——环状井点系统所包围的面积（m^2）。

b. 无压非完整井环状井点系统的涌水量计算。无压非完整井的井点系统降水时，地下水不仅从井的侧面流入，还从井底渗入。因此，涌水量要比完整井大。精确计算比较复杂，为了简化计算仍可采用式（2-5）。此时式中含水层厚度 H 换成有效深度 H_0，H_0 值是经验数值，可查表 2-2。但是要注意，如果算得的 H_0 值大于实际含水层厚度 H，则仍取 H 值。无压非完整井环状井点系统的涌水量计算公式为

$$Q = 1.366k\frac{(2H_0-S)S}{\lg R - \lg x_0} \tag{2-7}$$

式中 H_0——含水层的有效深度（m）；

k、S、R、x_0 符号意义同前。

表 2-2 含水层有效深度 H_0

$S'/(S'+l)$	0.2	0.3	0.5	0.8
H_0	$1.3(S'+l)$	$1.5(S'+l)$	$1.7(S'+l)$	$1.85(S'+l)$

注：1. S' 为井管处水位降低值；l 为滤管长度。

2. 当 H_0 值超过 H 时，取 $H_0=H$。

3. 无压非完整井计算 R 时，也应以 H_0 代入。

c. 承压完整井环状井点系统的涌水量计算公式为

$$Q = 2.73k\frac{MS}{\lg R - \lg x_0} \tag{2-8}$$

式中 M——承压含水层厚度（m）；

其他符号含义同前。

d. 承压非完整井环状井点系统的涌水量计算公式为

$$Q = 2.37k\frac{M_S}{\lg R - \lg x_0} \times \sqrt{\frac{M}{l + 0.5r}} \times \sqrt{\frac{2M - l}{M}} \tag{2-9}$$

②确定井点管数量与井距。单井的最大出水量 q，主要取决于土的渗透系数、滤管的构造与尺寸，按下式计算：

$$q = 65\pi dl\sqrt[3]{k} \tag{2-10}$$

式中　k——渗透系数（m/d）；

　　d——滤管直径（m）；

　　l——滤管长度（m）。

井点管的最少数量 n 根据井点系统涌水量 Q 和单根井点管最大出水量 q，按下式计算：

$$n_{\min} = 1.1\frac{Q}{q} \tag{2-11}$$

式中　1.1——备用系数，考虑井点管堵塞等因素。

井点管最大间距 $D_{\max}$ 按下式计算：

$$D_{\max} = \frac{L}{n_{\min}} \tag{2-12}$$

式中　L——总管长度（m）。

③选择抽水设备。轻型井点抽水设备一般多采用真空泵井点设备。真空泵的型号可根据所带的总管长度、井点管根数进行选用。采用 V5 型泵时，总管长度不大于 100m，井点管数量约 80 根；采用 V6 型泵时，总管长度不大于 120m，井点管数量约 100 根。当采用射流泵井点设备时，总管长度不大于 50m，井点管数量约 40 根。

水泵一般也配套固定型号，但使用时还应验算水泵的流量是否大于井点系统的涌水量（应大于 10% ～ 20%），水泵的扬程是否能达到克服集水箱的真空吸力，以免抽不出水。

(4) 轻型井点施工。轻型井点系统的施工主要包括施工准备、井点系统安装与使用。

①施工准备。施工准备包括准备和检查井点设备、施工机具、砂滤料规格和数量、水源、电源等准备情况。挖好排水沟，以便于泥浆水的排放。为了检查降水效果，必须选择有代表性的地点设置水位观测孔。在附近建筑物设沉降监测点，并制订防止附近建筑物沉降的措施等。

②井点系统的安装顺序。根据降水方案放线、挖井点沟槽、铺设集水总管→冲孔、沉设井点管、灌填砂滤料→用弯联管将井点管与集水总管连接→安装抽水设备→试抽。其中，井点管沉设是关键工作。

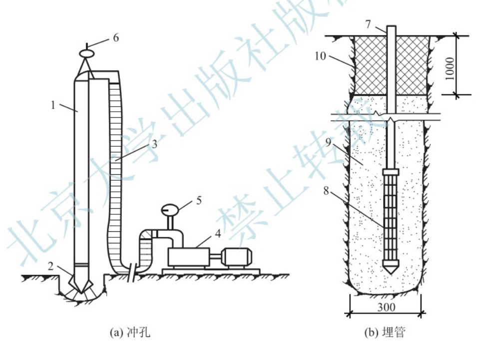
③井点管的沉设方法。常用的有下列两种：用冲水管冲孔后，沉设井点管；直接利用井点管水冲下沉。

采用冲水管冲孔法沉设井点管时，可分为冲孔与埋管两个过程（图 2.12）。冲孔时，冲管采用直径为 50 ～ 70mm 的钢管，长度比井点管长 1.5m 左右，冲管下端装有圆锥形冲嘴。用起重设备将冲管吊起并插在井点位置上，然后开动高压水泵，将土冲松，冲管

则边冲边沉。冲孔所需的水压，根据土质不同而定，一般为 0.6 ～ 1.2MPa。冲孔孔径不应小于 300mm，并保持垂直，上下一致，使滤管有一定厚度的砂滤层。冲孔深度应比滤管底部低 0.5m 以上，以保证滤管的埋设深度，并防止被井孔中沉淀的泥砂所淤塞。井孔冲成后，应立即拔出冲水管，插入井点管，并在井点管与孔壁之间，填灌干净粗砂做砂滤层。砂滤层厚度一般为 60 ～ 100mm，填灌高度至少达到滤管顶以上 1 ～ 1.5m，以保证水流畅通。

直接用井点管水冲下沉的方法，是在井点管的底端，装上冲水装置来进行冲孔沉设井点管。每根井点管沉设后应检查渗水性能。检查方法是：在正常情况下，当填灌砂做砂滤层时，井点管口应有泥浆水冒出，否则，应从井点管口向管内灌清水，测定管内水位下渗快慢情况，如果下渗很快，则表明滤管质量良好。

井点系统施工时，各部件连接接头均应安装严密，以防止接头漏气，影响降水效果。弯联管宜采用软管，以便于井点安装，减少可能漏气的部位，避免因井点管沉陷而造成管件损坏。南方地区可用透明的塑料软管，便于直接观察井点的抽水状况；北方寒冷地区宜采用橡胶软管。



(a) 冲孔　　(b) 埋管

1—冲管；2—冲嘴；3—胶皮管；4—高压水泵；5—压力表；6—起重机吊钩；
7—井点管；8—滤管；9—填砂；10—黏土封口

图 2.12　冲水管冲孔法沉设井点管

在第一组轻型井点系统安装完毕后，应立即进行抽水试验，检查管路接头质量、井点出水状况和抽水机的运转情况等，若发现漏气、漏水现象，应及时处理。若发现滤管被泥砂堵塞，则属于“死井”，特别是在同一范围内有连续数根“死井”时，将严重影响降水效果。在这种情况下，应对“死井”逐根用高压水反向冲洗或拔出重新沉设。

轻型井点的正常出水规律是“先大后小，先混后清”，否则，应立即检查、纠正。在降水过程中，应按时观测流量并做好记录。

轻型井点系统使用时，应连续抽水，若时抽时停，滤管易堵塞，也容易抽出土粒，使出水混浊，严重时会引起附近建筑物由于土粒流失而沉降开裂；同时由于中途停抽，地下水回升，也会引起土方边坡坍塌或在建的地下结构（如地下室底板等）上浮等事故。

(5) 降水对周围建筑物的影响及防治措施。采用轻型井点降水时，由于土层水分排除后，土壤会产生固结，使得在抽水影响半径范围内引起地面沉降，这往往会给周围已有的建筑物带来一定的危害。因此，在进行降低地下水位施工时，为避免引起周围建筑物产生过大的沉降，应尽可能采取止水帷幕，或采取回灌井点措施。

【例 2-1】某工程基础开挖一矩形基坑，基坑底宽 15m、长 20m、深 4.5m，挖土边坡 1:0.5，基坑平、剖面如图 2.13 所示。经地质勘探，天然地面以下为 1.0m 厚的黏土层，其下有 8m 厚的中砂，渗透系数 k=26m/d。再往下，即离天然地面 9m 以下为不透水的黏土层。地下水位在地面以下 1.5m。拟采用轻型井点降低地下水位，试进行井点系统设计。

解：(1) 井点系统的布置。

为使总管接近地下水位和不影响地面交通，考虑天然地面以下有 1.0m 厚的黏土层，将总管埋设在地面下 0.5m 处，即先挖 0.5m 的沟槽，然后在槽底铺设总管。此时，基坑上口平面尺寸 (a×b) 为

$$a\times b=[20+2\times0.5\times(4.5-0.5)]\text{m}\times[15+2\times0.5\times(4.5-0.5)]\text{m}=24\text{m}\times19\text{m}$$

采取环状井点布置，总管距基坑边缘 1.0m，则总管长度为

$$L_{总}=(24+2)\times2+(19+2)\times2=94(\text{m})$$

基坑中心要求降水深度 S=4.5−1.5+0.5=3.5(m)

采用一级轻型井点，井点管的埋设深度 H（不包括滤管）为

$$H\geqslant H_1+h+IL=(4.5-0.5)+0.5+\frac{1}{10}\times\frac{21}{2}=5.55(\text{m})$$

采用井点管长 6.0m，直径 51mm，滤管长度 1.0m。井点管露出地面 0.2m，以便与总管相连接。则井点管实际埋置深度 H=6−0.2=5.8(m) > 5.55(m)，符合要求。

故有 $(4.5-0.5)+h+\dfrac{1}{10}\times\dfrac{21}{2}=5.8\ (\text{m})$

则 h=0.75m，取 0.8m。

此时，基坑中心实际降水深度为

$$S=4.5-1.5+0.8=3.8(\text{m})$$

(2) 基坑涌水量计算。

井点管及滤管总长 6.0+1.0=7.0(m)，滤管底部距不透水层为：

$$9-6.8-0.5=1.7(\text{m})>0$$

故可按无压非完整井环形井点系统计算。

有效含水深度 H_0 按表 2-2 求出：

由 $\dfrac{S'}{S'+l}=\dfrac{4.8}{4.8+1.00}=0.83$ 得

$$H_0=1.85\times(S'+l)=1.85\times(4.8+1.0)=10.73\,(\text{m})$$

实际含水层厚度：$H=9-1.5=7.5\,(\text{m})$

由于 $H_0>H$ 取 $H_0=H=7.5\text{m}$

(a) 基坑平面图

(b) 基坑剖面图

图 2.13　轻型井点布置计算实例示意图

抽水影响半径 R 按式 (2-5) 计算：

$$R=1.95S\sqrt{H_0k}=1.95\times3.8\times\sqrt{7.5\times26}=103.48\ (\text{m})$$

矩形基坑环状井点系统的假想圆半径 x_0 按式 (2-6) 计算：

$$x_0=\sqrt{\frac{F}{\pi}}=\sqrt{\frac{26\times21}{\pi}}=13.2\ (\text{m})$$

将以上各值代入式 (2-7)，得群管的涌水量：

$$Q=1.366k\frac{(2H_0-S)S}{\lg R-\lg x_0}=1.366\times26\times\frac{(2\times7.5-3.8)\times3.8}{\lg103.48-\lg13.2}=1550.32(\text{m}^3)$$

(3) 确定井点管数量及井点管间距。

单根井点管的最大出水量为：

$$q=65\pi dl\sqrt[3]{k}=65\times\pi\times0.051\times1.0\times\sqrt[3]{26}=30.84(\text{m}^3/\text{d})$$

井点管数量按式 (2-11) 计算：

$$n=1.1\frac{Q}{q}=1.1\times\frac{1550.32}{30.84}=55(根)$$

井点管最大间距按式 (2-12) 计算为：

$$D=\frac{L_{总}}{n}=\frac{94}{55}=1.7\ (\text{m})$$

因为实际采用的井点管间距 D 应当与总管上接头尺寸相适应，故取井距为 1.6m。则井点管数量应为：

$$n_{实}=\frac{L_{总}}{D_{总}}=\frac{94}{1.6}=59(根)$$

在基坑四角处井点管应加密，如考虑每个角加 2 根管，最后实际采用 59+8=67(根)。

(4) 选择抽水设备。

抽水设备所带动的总管长度为 94m，可选用 W5 型干式真空泵一套。

水泵所需流量：

$$Q_1=1.1Q=1.1\times1550.32=1705.35(\text{m}^3/\text{d})=71.1\text{m}^3/\text{h}$$

水泵吸水扬程：

$$H_S\geqslant6.0+1.0=7.0(\text{m})$$

根据 Q_1 及 H_S，选用 3B33 型离心泵。实际施工选用 2 台，1 台备用。

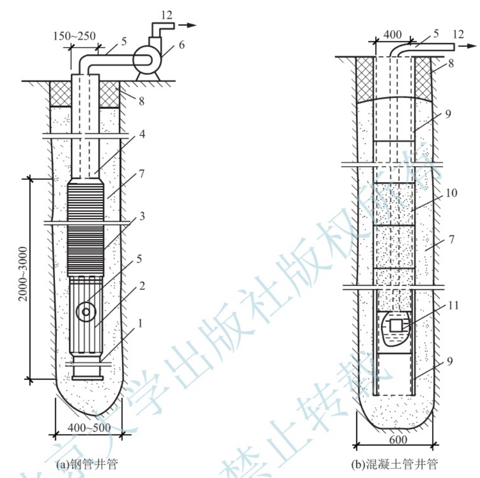
2) 管井井点

管井井点是沿基坑每隔一定距离设置一个管井，每个管井单独用一台水泵不断地抽水，以降低地下水位。当土层的地下水丰富，渗透系数很大（如 k=20 ～ 200m/d) 时，一般采用管井井点的方法进行降水。

管井的间距一般为 20 ～ 50m，深度为 8 ～ 15m，管井井点的水位降低值一般为 3 ～ 5m，井内可达 6 ～ 10m。管井井点的设计计算，参照轻型井点进行。

管井井点的设备主要是由管井、吸水管及水泵组成（图 2.14)。管井可分为钢管管井和混凝土管管井等。钢管管井的管身采用直径为 150 ～ 250mm 的钢管，其过滤部分采用钢筋焊接骨架外缠镀锌铁丝并包滤网（孔眼为 1 ～ 2mm)，长度为 2 ～ 3m。混凝土管管井的内径为 400mm，分实管与过滤管两种，过滤管的孔隙率为 20% ～ 25%，吸水管可采用直径为 50 ～ 100mm 的钢管或胶管，其下端应沉入管井抽吸时的最低水位以下，为了启动水泵和防止在水泵运转中突然停泵时发生水倒灌，在吸水管底要装逆止阀。管井井点的水泵可采用潜水泵或单级离心泵。

滤水井管的埋设，可采用泥浆护壁钻孔法成孔。孔径应比井管直径大 200mm 以上。井管下沉前要进行清孔，并保持滤网的畅通，然后沉设井管，并随即用粗砂或小砾石填充井管周围作为过滤层。



(a)钢管井管　　(b)混凝土管井管

1—沉砂管；2—钢筋焊接骨架；3—滤网；4—管身；5—吸水管；6—离心泵；7—小砾石过滤层；8—黏土封口；9—沉砂管（混凝土实管）；10—混凝土过滤管；11—潜水泵；12—出水管

图 2.14　管井井点

3）深井井点

若施工要求降水深度较大，而且土的渗透系数又较大，在管井井点内采用一般的离心泵和潜水泵已不能满足要求时，可改用深井泵，即深井井点降水法。该方法是依靠水泵的扬程把深处的地下水抽到地面上来，它适用于土的渗透系数为 10 ～ 80m/d、降水深度大于 15m 的情况。

4）喷射井点

当遇到要求降水深度大于 6m，且土的渗透系数较小（k=0.1 ～ 2.0m/d）的弱透水层时，适宜采用喷射井点，其降水深度可达 8 ～ 20m。此时若采用轻型井点，就必须采用多层井点，不仅增加井点设备，而且增大基坑的挖土量，延长工期等，往往不经济。

喷射井点的设备，主要由喷射井管、高压水泵和管路系统组成。喷射井点的平面布置：当基坑宽度小于 10m 时，可用单排布置；大于 10m 时，可采用双排或环形布置。井点间距一般为 2 ～ 3m，每一套喷射井点设备可带动 30 根左右的喷射井管。

5）电渗井点

对于渗透系数很小的土（$k<0.1$m/d），单靠采用真空吸力的井点降水方法效果不大，这种情况需用电渗井点法降水。

电渗井点是将井点管作为阴极，在井点内侧相应地插入钢筋或钢管作阳极，通入直流电流后，在电场作用下，使土中的水加速向阴极渗透，流向井点管，这种利用电渗现象与井点相结合的方法，称为电渗井点法。这种方法因耗电较多，只有在特殊情况下使用。

2.3 土方边坡与土壁支护

土方在开挖方过程中或填方后，边坡的稳定主要是靠土体的内摩阻力和黏结力来保持平衡的。土体塌方的本质是剪应力大于抗剪强度，其主要是开挖过深、土质较差、放坡太小、水的侵入以及支护较弱等综合原因。一旦土体失去平衡，基坑（槽）边坡土方会局部或大面积塌落或滑塌。边坡塌方会引起人身事故，同时会妨碍基坑开挖或基础施工，有时还会危及附近的建筑物。为了防止塌方，保证施工安全，在基坑（槽）开挖深度超过一定限度时，土壁应做成有斜率的边坡，或者对土壁进行支护，以保持边坡土壁的稳定。土壁稳定主要依靠土体的抗剪强度来维持平衡。

防止土体塌方的主要措施是放坡及支撑等。

2.3.1 土方边坡

土方施工中为了保持土壁稳定、防止塌方，在地质条件和周围条件允许时，将挖方和填方的边缘做成一定的坡度，即为边坡。合理地选择和留设土方边坡，是保证土方边坡稳定和减少土方量的有效措施。

1. *土方边坡坡度*

土方边坡坡度是以其挖方深度 H 与边坡底宽 B 之比来表示，如图 2.15(a) 所示。其计算式为

$$i=\frac{H}{B}=\frac{1}{B/h}=1:m \tag{2-13}$$

式中　m——坡度系数，$m=B/H$。

土方边坡应根据使用时间（临时或永久性）、土的种类、物理力学性质（如内摩擦角、黏聚力、密度、湿度）、水文情况等确定。

1）不放坡直槽高度

当地下水位低于基底，在湿度正常的土层中开挖基坑或管沟，且敞露时间不长时，可做成直壁不加支撑，但挖方深度不宜超过表 2-3 的规定。挖土深度超过表 2-3 的规定时，应考虑放坡或做成直立壁加支撑。

表 2-3　直壁不加支撑挖方深度

序号	土的类别	挖方深度
1	密实、中密的砂土和碎石土	≤ 1m
2	硬塑、可塑的轻亚黏土及亚黏土	≤ 1.25m
3	硬塑、可塑的黏土和碎石土	≤ 1.5m
4	坚硬的黏土	≤ 2m

2）放坡坡度

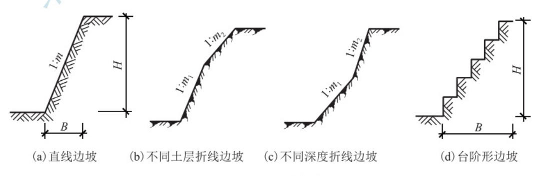
地质条件良好，土质较均匀，深度在 5m 内的边坡坡度可按表 2-4 确定。对于永久性场地，挖方边坡坡度应按设计要求放坡。

表 2-4　深度在 5m 以内不加支撑的边坡最大值边坡坡度

土的类别	边坡坡度（高：宽）		
	坡顶无荷载	坡顶有静载	坡顶有动载
中密砂土	1∶1.00	1∶1.25	1∶1.50
中密碎石类（填充物为砂土）	1∶0.75	1∶1.00	1∶1.25
塑性的粉土	1∶0.67	1∶0.75	1∶1.00
中密碎石土（填充物为黏性土）	1∶0.50	1∶0.67	1∶0.75
硬塑的粉质黏土、黏土	1∶0.33	1∶0.50	1∶1.00

2. 土方边坡的形式

土方边坡大小的确定与土质、开挖深度、开挖方法、边坡留置时间长短、边坡附近的各种荷载状况及排水状况有关（图 2.15）。



(a) 直线边坡　(b) 不同土层折线边坡　(c) 不同深度折线边坡　(d) 台阶形边坡

图 2.15　不同土方边坡形式

3. 土方边坡的稳定

土方边坡的稳定，主要是靠土体的内摩擦阻力和黏结力来保持平衡的。一旦土体失去平衡，土体就会塌方，这不仅会造成人身安全事故，同时也会影响工期，甚至还会危及附近的建筑物。

4. 边坡护面措施

边坡护面措施有水泥砂浆抹面护坡、浆砌片石护坡、叠置砂（土）袋护坡、塑料薄膜覆盖护坡等。

(1) 水泥砂浆抹面护坡。常用于保护易风化的软质岩石、老黏性土及破碎岩石边坡坡面的稳定，一般做 30 ～ 50mm 厚水泥砂浆抹面。如用于一般土质边坡，常沿坡面打入双向间距 1.0m 左右、长 1 ～ 1.5m 的Ⅱ级螺纹钢筋（直径 10 ～ 16mm），以加强砂浆面层与坡面土体的连接。

(2) 浆砌片石护坡。对各种土质或岩石边坡，为防止风化剥落或滑塌，可采用浆砌片石护坡。坡度应小于 1:0.5，竖直边坡也可采用红砖砌筑，也可在坡脚处砌筑一定高度的浆砌片石或红砖墙，用于反压及挡土。

(3) 叠置砂（土）袋护坡。对已发生或将要发生滑塌失稳或变形较大的边坡，常用叠置砂袋或土袋（草袋或土工织物袋），置于坡脚或坡面，具有排水反压、抗滑稳定的作用。

(4) 塑料薄膜覆盖护坡。在坡面铺设抗拉或防水的塑料薄膜（土工布），其上覆盖素土、砂土、砂浆抹面等，对坡面进行防水、防风化、防坡面土流失的加固处理。

2.3.2 土壁支护

1. 土壁稳定

土壁主要是靠土体的内摩阻力和黏结力保持平衡，一旦失去平衡，土壁就会塌方。造成土壁塌方的主要原因如下。

(1) 边坡过陡，使土体本身稳定性不够，尤其是在土质差、开挖深度大的坑（槽）中，常引起塌方。

(2) 雨水、地下水渗入基坑，使土体重力增大及抗剪能力降低，是造成塌方的主要原因。

(3) 基坑（槽）边缘附近大量堆土，或停放机具、材料，或由于动荷载的作用，使土体产生的剪应力超过土体的抗剪强度。

2. 防治土壁塌方的措施

为了保证土体稳定、施工安全，针对上述塌方原因，可采取以下措施。

(1) 放足边坡。边坡的留设应符合规范的要求，其坡度的大小，则应根据土壤的性质、水文地质条件、施工方法、外挖深度、工期的长短等因素确定。

(2) 设置支撑。为了缩小施工面，减少土方，或受场地的限制不能放坡时，则可设置土壁支护。

3. 土壁支护的形式以及适用范围

当开挖基坑（槽）的土质条件较差或基坑较深，或受到周围场地的限制而不能放坡或直立开挖时，可采用土壁支撑或支护，以保证施工的顺利和安全，并减少对相邻已有建筑物等的不利影响。支护结构的种类甚多，按结构形式可分为排桩、地下连续墙、水泥土墙、逆作拱墙、土钉墙或采用上述形式的组合。

土壁支护形式应根据开挖深度和宽度、土质和地下水条件，以及开挖方法、相邻建筑物等情况进行选择和设计。

1）横撑式支撑

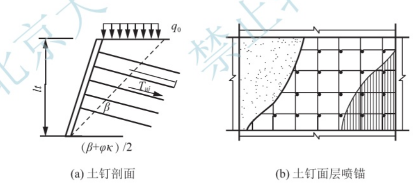
开挖较窄的基坑或沟槽，当地质条件和周围环境不允许放坡时，多采用横撑式支撑。根据挡土板放置方式不同，分为水平式支撑和垂直式支撑两类。水平式支撑：间断或连续的水平挡土板放置。间断式水平挡土板支撑，适于能保持直立壁的干土或天然湿度的黏土，深度在3m以内。连续式水平挡土板支撑，适于较潮湿的或散粒的土，深度在5m以内。垂直式支撑：间断或连续的垂直挡土板放置。适于土质较松散或湿度很高的土，地下水较少，深度不限。横撑式支撑形式如图2.16所示。



图 2.16　横撑式支撑形式

2）土钉墙、板桩式支护结构

（1）土钉墙支护。土钉墙加固技术是在土体内放置一定长度和分布密度的土钉体，起主动嵌固作用，它与土体共同作用，用以弥补土体自身强度的不足。它不仅提高了土体的整体刚度，而且弥补了土体的抗拉和抗剪强度低的弱点。通过相互作用，土体自身结构强度的潜力得到充分发挥，还改变了边坡变形和破坏性状，显著提高了整体稳定性，是一种原位加固土的技术，如图2.17所示。



(a) 土钉剖面　　(b) 土钉面层喷锚

图 2.17　土钉墙支护示意图

土钉墙适用于地下水位低于土坡开挖段或经过降水措施后使地下水位低于开挖层的情况。为了保证土钉墙的施工，土层在分阶段开挖时，应能保持自身稳定。为此，土钉适用于有一定黏结性的杂填土、黏性土、粉性土、黄土类土及含有30%以上黏土颗粒的砂土边坡。此外，当采用喷射混凝土面层或坡面浅层注浆等稳定坡面措施，能够保证每一边坡台阶的自身稳定时，也可采用土钉支护体系作为稳定砂土边坡的方法。

土钉墙施工时一般要先开挖土层1～2m深，在喷射混凝土和安装土钉前需要在无支护情况下稳定至少几个小时，因此土体必须要有一定的“黏聚力”，否则需先行灌浆处理，导致造价增加且施工复杂。另外，土钉墙施工时要求坡面无水渗出。若地下水从

坡面渗出，则开挖后坡面会出现局部坍塌，这样就不可能形成一层喷射混凝土面。图 2.19 所示为土钉墙支护施工图。




图 2.18　土钉墙支护现场图片



图 2.19　土钉墙支护施工图

土钉墙支护结构的施工工艺如下。

①开挖工作面。墙开挖应分段分层进行，分层开挖深度主要取决于与暴露坡面的“直立”能力。基坑开挖和土钉墙施工应按设计要求自上而下分段分层进行。考虑土钉施工设备，分层开挖至少要 6m 宽。开挖长度取决于交叉施工期间能保持坡面稳定的坡面面积。当要求变形小时，开挖可按两段长度分先后施工，纵向长度一般为 10m。

在机械开挖后，应辅以人工修整坡面，坡面平整度允许偏差为 ±20mm，喷射混凝土支护之前，坡面虚土应予以清除。

②喷射混凝土。为了防止土体松弛和崩解，必须尽快做第一层喷射混凝土，厚度不宜小于 40 ～ 50mm。所用的混凝土水泥最少含量为 $400kg/m^3$。当不允许产生裂缝时，加强养护特别重要。

③设置土钉。土钉施工包括定位、成孔、设置钢筋、注浆等工序。钻孔工艺和方法与土层条件、施工单位的设备和经验有关。

④铺设钢筋网。钢筋网应在喷射第一层混凝土后铺设，钢筋与第一层喷射混凝土的间隙不小于 20mm。采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被覆盖后铺设。另外，钢筋网与土钉应连接牢固。

⑤设置排水系统。施工时应提前沿坡顶挖设排水沟以排除地表水，并在第一段开挖喷射混凝土期间可用混凝土做排水沟覆面。一般对支挡土体有以下三种主要排水方式。

a. 浅部排水。施工时采用直径为 100mm，长 300 ～ 400mm 的管子，可将坡后的水迅速排除，其间距可按地下水条件和冻胀破坏的可能性来确定。在基坑底部应设置排水沟和集水井，并宜离开面层一定距离。

b. 深部排水。在永久性支护中，可采用直径 50mm、向外倾斜 5° ～ 10° 、长度超过土钉的带孔塑料的排水管，内填滤料。其间距取决于土体和地下水条件，一般坡面每大于 $3m^2$ 布置一个。

c. 坡面排水。在喷射混凝土坡面前，可贴着坡面按一定的水平间距布置土工合成材料包扎的竖向排水通道或设置带孔的竖向排水管，其间距取决于地下水条件和冻胀力的作用，一般为 1 ～ 5m。这些排水通道在每步开挖施工，喷射混凝土面层以前铺设，到支护底部后横向连通，并将水引走。坡面排水也可代替前述的浅部排水。

⑥质量检测。对土钉应采用抗拉试验检测承载力，为土钉墙设计提供依据或用以证明设计中所使用的黏结力是否合适。土钉的抗拉试验可采用循环加荷的方式：第一级荷载取土钉钢筋屈服强度的 10% 为基本荷载，其后以土钉钢筋屈服强度的 15% 为增量来增加荷载，同时用退荷循环来测量残余变形，每一级荷载必须持续到变形稳定为止。土钉的破坏标准为：在同级荷载下的变形不可能趋于稳定，即认为土钉已达到极限荷载。在土钉钢筋上贴电阻应变片，可用以量测土钉应力分布及其变化规律。

在同一条件下，试验数量应为土钉总数的 1%，且不少于 3 根。土钉检验的合格标准为：土钉抗拔力平均值应大于设计极限抗拔力；抗拔力最小值应大于设计极限抗拔力的 0.9 倍。

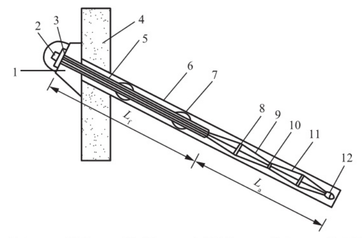
土钉墙面喷射混凝土厚度可采用钻孔检测，钻孔数宜每 100m^2 墙面积一组，每组不应少于 3 点。

(2) 喷锚网支护。形式与土钉墙支护类似，也是在开挖边坡表面铺设钢筋网，喷射混凝土面层，并在其上成孔，但不是埋设土钉，而是埋设预应力锚杆，借助锚杆与滑坡面以外土体的拉力，使边坡稳定。图 2.20 所示为喷锚支护实例图片。



图 2.20　喷锚支护实例图片

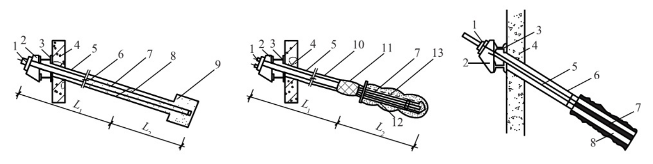
①土层锚杆的构造。锚杆是一种将拉力传至稳定岩层或土层的结构体系，主要由锚头、自由端、锚固端组成，如图 2.21 所示。



1—台座；2—锚具；3—承压板；4—支挡结构；5—钻孔；6—自由隔层；
7—钢筋；8—注浆体；L_f—自由端长度；L_a—锚固端长度

图 2.21　锚杆的构造示意图

②土层锚杆的分类。按类型分为普通锚杆、高压灌浆锚杆和预应力锚杆；按锚杆固段形状分为端部扩大头形、连续球体形和圆柱形，如图 2.22 所示。



(a) 端部扩大头形锚杆　　(b) 连续球体形锚杆　　(c) 圆柱形锚杆

端部扩大头形—适用于锚固于砂质土、硬黏土层且要求较高的抗拔力；连续球体形—适用于锚固于淤泥土、淤泥质土土层，且要求较高的抗拔力；圆柱形—适用于各类岩石和较硬的土层，一般不在软弱黏土层中应用

图 2.22　常见锚杆类型

喷锚网支护施工顺序如图 2.23 所示。

(3) 板桩挡墙。图 2.24 所示为型钢横挡板支护，图 2.25 所示为常用钢板桩截面形式，图 2.26 所示为钢板桩现场图片。

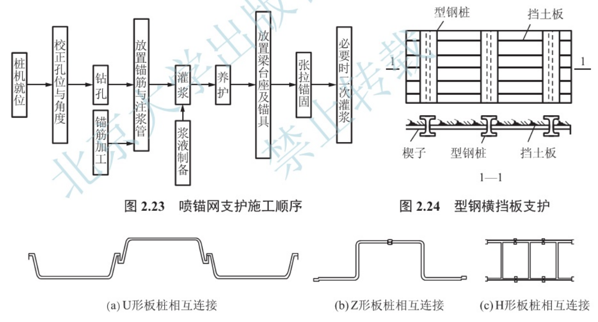


图 2.23　喷锚网支护施工顺序　　**图 2.24　型钢横挡板支护**

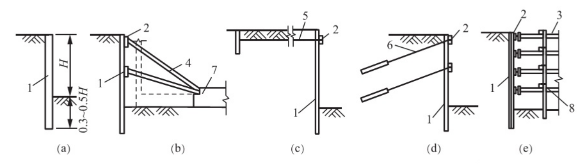
(a) U形板桩相互连接　　(b) Z形板桩相互连接　　(c) H形板桩相互连接

图 2.25　常用钢板桩截面形式



图 2.26　钢板桩现场图片

(4) 挡墙的支撑结构。按构造特点可分为自立式（悬臂式）、斜撑式、锚拉式、锚杆式、坑内基坑式等几种，其中坑内支撑又可分为水平支撑、桁架支撑及环梁支撑等（图 2.27）。

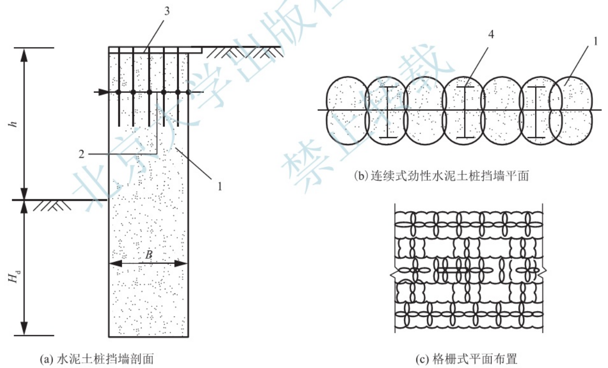


1—板桩墙；2—围檩；3—钢支撑；4—斜撑；5—拉锚；6—土锚杆；7—先施工的基础；8—竖撑

图 2.27　支护结构形式

3）重力式支护结构（水泥土墙）

水泥土重力式围护结构（图 2.28）是通过沉入地下设备，将喷入的水泥与土进行掺和，形成柱状的水泥加固土桩，彼此搭接形成重力式水泥土挡墙。该支护结构靠自重和刚度进行挡土，适用于 4 ～ 6m 的基坑，最大可达 7 ～ 8m。



(a) 水泥土桩挡墙剖面

(b) 连续式劲性水泥土桩挡墙平面

(c) 格栅式平面布置

1—搅拌桩；2—插筋；3—面板；4—H 型钢

图 2.28　水泥土桩挡墙的一般构造

按施工机具和方法不同，可分为深层搅拌桩（如图 2.29 所示为深层搅拌水泥土桩平面布置形式）、粉喷水泥搅拌桩和高压旋喷桩等，既可挡土又可止水，其中，深层搅拌水泥土挡墙广泛用于软土地区（淤泥质土，地基承载力小于 120kPa 黏性土）的深基坑工程，挖深小于 8m。

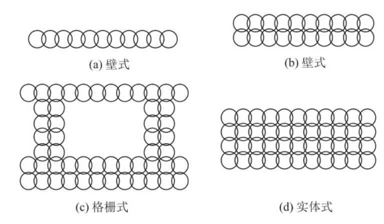


图 2.29 深层搅拌水泥土桩平面布置形式

(1) 深层搅拌桩的施工工艺流程（图 2.30）。

①定位。用起重机悬吊搅拌机到达指定桩位，对准桩位。

②制备水泥浆。待深层搅拌机下沉到一定深度时，即开始按设计确定的配合比拌制水泥浆，压浆前将水泥浆倒入集料斗中。

③喷浆搅拌、提升。待深层搅拌机下沉到设计深度后，开启灰浆泵，将水泥浆压入地基，且边喷浆、边搅拌，按设计确定的提升速度提升深层搅拌机。

④重复搅拌下沉和喷浆提升。重复步骤②～③，桩体要互相搭接形成整体。

⑤每天加固完毕，应用水清洗储料罐、砂浆泵、深层搅拌机及相应管道，以备再用。

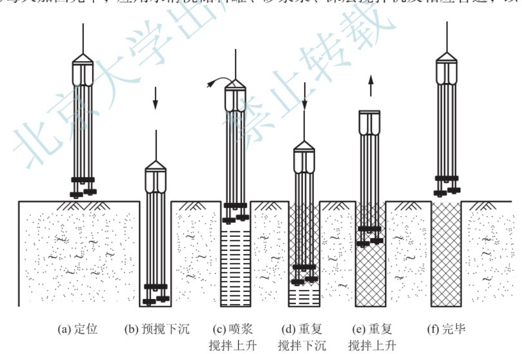


图 2.30 深层搅拌桩的施工工艺流程

(2) 深层搅拌桩的施工要点。

①桩位准确，桩体垂直。放线桩位与设计桩位误差不得大于 20mm，桩机就位与桩位的误差不得大于 50mm，成桩后与设计位置的误差应小于 50mm；为保证搅拌桩垂直于地面，桩机就位后导向架的垂直偏差不得超过 0.5%，应加强检查。

②水泥浆不得离析。水泥浆要严格按设计的配合比拌制（一般水灰比为0.5～0.6），制备好的水泥浆停置时间不宜过长（＜2h），不得有离析现象。

③确保水泥搅拌桩的强度和均匀性。搅拌机搅拌下沉时应控制下沉速度（一般不超过0.7m/min），以保证软土充分搅碎；如下沉困难，可由输浆管适量冲水，以加速搅拌机下沉，但在喷浆前须将输浆管中的水排干净，同时应考虑冲水对桩体质量的影响；施工时要严格按照设计要求控制喷浆量和搅拌提升速度（一般不超过0.5m/min）。输浆时应连续供浆，不允许断浆。如因故断浆，应将搅拌机下沉到断浆点以下0.5m处再喷浆提升。

④确保加固体的连续性。水泥土桩挡墙应采用切割搭接法施工，应在前桩水泥尚未固化时进行后续搭接桩施工，搭接施工的间歇应不超过10～16h，否则应采用技术措施保证加固体的连续性（俗称“接头处理”）。

2.4 深基坑工程及其支护结构施工

2.4.1 深基坑工程

1.深基坑工程的范畴

(1) 开挖深度超过5m（含5m）的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。

(2) 开挖深度虽未超过5m，但地质条件、周围环境和地下管线复杂，或影响毗邻建（构）筑物安全的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。

2.深基坑工程的特点

(1) 建筑趋向高层化，基坑向大深度方向发展。

(2) 基坑开挖面积大，长度与宽度有的达数百米，给支撑系统带来较大的难度。

(3) 在软弱土层中，基坑开挖会产生较大的位移和沉降，对周围建筑、市政设施和地下管线造成影响。

(4) 深基坑施工工期长，场地狭窄，降雨、重物堆放对基坑的稳定不利。

(5) 在相邻的场地施工中，打桩、降水、挖土及浇筑混凝土等工序会相互制约和影响，增加协调工作的难度。因此，深基坑的支护工作对整个主体结构的施工提供安全的、无地下水干扰的施工空间，并对邻近的结构和设施提供可靠的保护，这是非常重要的。

2.4.2 深基坑支护结构施工

1.H型钢（工字钢）桩加横挡板挡土墙（图2.31）

1) 施工工艺

(1) 打桩。将H型钢桩打到设计深度。

(2) 挖土，安装挡土板。每挖一层后，在H型钢桩间安装挡土板，直到预定基坑深度。

(3) 地下室结构（包括外墙）施工。

(4) 拆挡土板，回填土。自下向上拆除挡土板，并且拆除一层挡土板，填一次肥槽土方。

(5) 拔桩。用振动拔桩机拔出 H 型钢桩。

(6) 处理好拔桩后的孔洞。

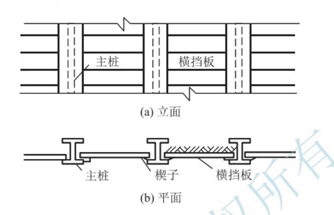


图 2.31 主桩加横挡板式挡土墙

2) 施工特点

(1) H 型钢桩一次投资费用大，支护工程完毕后，要将桩拔出，否则很不经济。拔出后按摊销费计算，比灌注桩节省。

(2) 打桩和拔桩噪声大，扰民。

(3) 作为悬臂桩时，位移大，要计算位移量。在设置支撑或锚杆时，其位移也要计算，避免产生过大位移而影响邻近建（构）筑物。

(4) 与锚杆及内支撑结合使用，可得到满意的支护效果。

3) 适用范围

适用于地下水位低的黏土、砂土地基。水位高或有上层滞水时，应降水，使水位低于坑底标高。软土地基也可用，但应慎重。

2. 疏排混凝土灌注桩加钢丝网水泥抹面护壁（图 2.32）

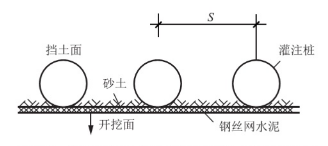


图 2.32 疏排混凝土灌注桩加钢丝网水泥抹面护壁

1) 施工工艺

(1) 成孔。按地质情况不同进行成孔：如水位低，用人工挖孔最经济；遇水时，可用反循环钻机成孔，或潜水钻机成孔。

(2) 灌注混凝土桩。地下水位低或水少时，可以抽水后浇筑混凝土；地下水位高时，应水下浇筑混凝土。

(3) 浇筑圈梁。挡土桩完成后，在桩顶浇筑压顶圈梁。

(4) 挖土抹面。圈梁做完后方能挖土。每挖一层土后，在开挖面进行钢丝网水泥抹面，用射钉枪将钢丝网钉牢在挡土桩上。

(5) 根据设计要求，安装内支撑或锚杆。挖土与内支撑或锚杆配合，一般应挖到锚杆标高下 0.5m 才进行锚杆施工。

2) 施工特点

(1) 施工无振动、无噪声、不扰民，比密排桩施工方便。

(2) 比较经济、节省。

(3) 永久基础也为灌注桩时，可以同步施工，省工期。

(4) 水泥用量较大，水下浇筑混凝土时质量不易控制。

3) 适用范围

适用于地下水位低的各种黏土、砂土地基。

3. 桩墙合一（基坑支护桩的位置与地下室外墙重合）的地下室逆作法

1) 施工工艺

(1) 平整场地，放四周桩墙及中间桩的轴线位置。

(2) 用机械或人工筑边桩及中间桩孔，灌注混凝土。

(3) 在场地上做梁、板土模，利用土模浇筑地下室顶板（梁）混凝土，与周边支护桩连接，并与中柱桩结合（筑楼板时预留孔洞作开挖竖井用）。

(4) 开挖施工用竖井安装设备。

(5) 人工挖土，通过皮带运输土方，并提升运出场外。

(6) 挖到第一层底板后，支模、浇筑四周钢筋混凝土外墙，并与支护桩内预埋钢筋连接，混凝土应掺防水剂。

(7) 做一层地下室底板（二层地下室顶板）的土模，并浇筑混凝土，同时预留孔洞。

(8) 开挖二层地下室土方并运出。

(9) 挖到二层地下室底板标高，浇筑四周混凝土外墙。

(10) 浇筑二层地下室地面。

然后按相同的工艺进行三、四层地下室的施工。

2) 施工特点

(1) 支护桩是永久支护桩，设计地下室外墙可以不考虑墙的挡土作用，只需保证防水、抗渗作用。

(2) 场地内不用留出肥槽，特别适合场地狭小的工程施工，同时减少了挖、填土方。

(3) 以楼板作支撑，节约内支撑或锚杆等费用。

(4) 因地下室逆作，不需先支后护做正式工程，施工组织成功，可以节约工期。

(5) 与地下连续墙的逆作法的不同点在于墙不需承重，且墙在成槽后做。

(6) 不能采用机械大面积挖土。

3) 适用范围

(1) 黏土、砂土、地下水位低的地质条件。

(2) 以桩作基础的工程。

(3) 厚大筏板基础工程难以采用。

4. 地下连续墙

1) 施工工艺(图 2.33)

(1) 开挖前必须先砌筑起基准作用、防止表面泥土坍落的导墙。

(2) 利用大型挖抓或钻孔机械开挖单元槽段到预定深度,开挖时用配置好的泥浆护壁,单元槽段一般长 4 ~ 8m,6m 为标准槽段,最长达 10m。

(3) 吊装钢筋进入单元槽段的墙内。

(4) 水下浇筑混凝土。

(5) 拔出节点管,准备下一单元的槽段施工。

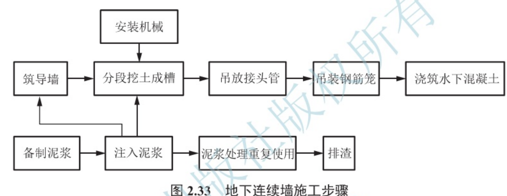


图 2.33　地下连续墙施工步骤

2) 施工特点(图 2.34)

(1) 地下连续墙止水性好,刚度大,既能承受土压力、水压力等水平荷载,又能承受垂直荷载,也就是同时具有挡土、抗渗和承重的性能。

(2) 对相邻建(构)筑物的影响甚小。已有记录表明,在离已有建筑物 20cm 处可以进行地连续墙施工,对既有建筑物并无影响。

(3) 使用机械设备较多,造价较贵。

(4) 泥浆配制要求高,需建泥浆回收重复使用的系统。

(5) 如将地下连续墙作为建筑基础结构墙体,可能能够适当降低造价。

3) 适用范围

(1) 基本适用于所有土质,特别适用于软土地区。

(2) 适合于环境要求严格的地区。当基坑附近有很近的建(构)筑物时,特别适宜用地下连续墙。



图 2.34　地下连续墙施工图片

本章小结

通过本章的学习，需要重点掌握流砂和管涌发生的原因和防治的方法、轻型井点的设计和计算、土方开挖防止土体塌方的两种做法，土方边坡的定义，边坡放坡的具体要求，以及土体支护的几种形式。另外，需了解地下连续墙的施工工艺。这些知识不仅可以应用于建筑工程专业，同时还可以应用于市政工程专业。

习　题

一、简答题

1. 试述土壁塌方的原因和预防塌方的措施。
2. 土钉墙与喷锚支护在稳定边坡的原理上有何区别?
3. 轻型井点的布置方案和设计步骤各是怎样的?
4. 进行明排水和人工降水应注意什么问题?
5. 降低地下水位对周围环境有什么影响?
6. 流砂发生的内因和外因各是什么? 该如何防治?

二、计算题

某基坑面积为20m×30m，基坑深4m，地下水位在地面下10m，地下水位无压水，渗透系数k=15m/d，基坑边坡为1:0.5，现采用轻型井点降低地下水位，试进行井点系统的设计。

第3章 基础工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
桩基础工程	重点掌握	桩基础构造、桩基础适用情况、桩基础的分类、混凝土预制桩施工、混凝土灌注桩施工
其他浅基础工程	了解	浅基础的分类、箱形基础、筏板基础、沉井基础等

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
桩的质量控制	掌握	摩擦桩、端承桩的质量控制方法
泥浆护壁灌注桩的施工质量控制	掌握	泥浆的制备、护筒的埋设
套管成孔灌注桩常遇问题和处理方法	掌握	吊脚桩、断桩、缩颈桩的处理方法



案例导航

下面这些图片分别是不同的桩施工现场图片。





本章问题讨论

1. 每个桩的施工工艺有什么特点？
2. 现代工程最常用的基础工程都有哪些？

3.1 桩基础概述及其分类

3.1.1 桩基础概述

桩基础是由一根或数根单桩（也称基桩）和承台两个部分组成，以便承受整个上部重量的一种基础。采用一根基桩承受和传递上部荷载的独立基础称为单桩基础；由两根或两根以上基桩组成的桩基础称为群桩基础。桩基础的修筑方法是：先将桩设置于地基中，然后在桩顶处浇筑承台，将若干根桩连接成一个整体，便构成了桩基础。最后在上面修建上部结构，如房屋建筑中的柱、墙或桥梁中的墩、台等。

桩基础的作用是将承台以上结构传来的荷载，通过承台将外荷载传至桩顶，再由桩顶传到较深的地基土层中去。其中，承台不仅将外力传至桩顶，而且箍住桩顶形成整体，共同承受外力。各桩的作用是将所承受的荷载通过桩侧土的摩阻力和桩端土的支承力，传至地基土层中去。

当地基上部软弱而在可能的设计桩长范围内埋藏有坚硬土层时,最适宜采用桩基础。桩基础如设计正确，施工得当，则它具有承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀、适用性强等特点。桩基础适宜在下列情况下采用。

(1) 当建筑物荷载较大，采用天然地基而地基承载力不足时；或地基浅层土质差，采用换填或地基处理困难较大或经济上不合理时，采用桩基是较好的解决方案。

(2) 即使天然地基承载力满足要求，但因采用天然地基时沉降量过大；或是建筑物较为重要，对沉降要求严格时。

(3) 高耸建筑物或构筑物在水平力作用下为防止倾覆或产生较大倾斜时。

(4) 为防止新建建筑物地基沉降对邻近建筑物产生相互影响，对新建建筑物可采用桩基，以避免这种危害。

(5) 设有大吨位的重级工作制吊车的重型单层工业厂房，吊车载重量大，使用频繁，车间内设备平台多，基础密集，因而地基变形大，这时可采用桩基。

(6) 精密设备基础安装和使用过程中对地基沉降及沉降速率有严格要求；动力机械基础对允许振幅有一定要求时。

(7) 在地震区，采用桩穿过液化土层并深入下部密实稳定土层，可消除或减轻液化对建筑物的危害。

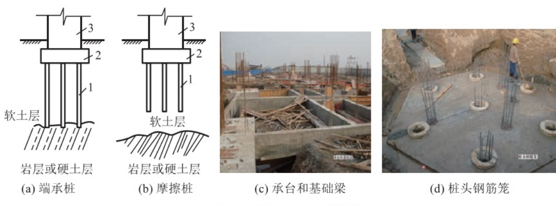
(8) 已有建筑物加层、纠偏、基础托换时可采用桩基。

(9) 水中建筑物，如桥梁、码头、采油平台等，地下水位很高，采用其他基础形式施工困难时。

3.1.2 桩的分类

按桩的承载性质不同，桩可分为端承桩和摩擦桩（图 3.1）。端承桩是指桩顶荷载全部或主要由桩端承担的桩；摩擦桩是指桩顶荷载全部或主要由桩侧承担的桩。

按桩的使用功能不同，桩可分为竖向抗压桩、竖向抗拔桩、水平受荷桩（主要承受水平荷载）以及复合受荷桩（竖向、水平荷载均较大）。



(a) 端承桩 (b) 摩擦桩 (c) 承台和基础梁 (d) 桩头钢筋笼

1—桩；2—承台；3—上部结构

图 3.1 桩基础

按桩身材料不同，桩可分为混凝土桩（包括钢筋混凝土桩或预应力钢筋混凝土制成桩）、钢桩（包括钢管桩和型钢桩）、木桩、沙石桩、水泥土桩、灰土桩。

按施工方法可将分为预制桩和灌注桩。预制桩是指到达设计位置和标高前已预先制作成形的桩，它又可分为钢筋混凝土预制桩、预应力混凝土管桩和钢桩；灌注桩是指直接在施工现场桩位上成孔，然后在孔内安放钢筋笼，浇注混凝土成形的桩。灌注桩按成孔的方法又可分为泥浆护壁成孔灌注桩、干作业成孔灌注桩、沉管灌注桩和内夯灌注桩。

按桩径（d）大小不同，桩可分为小直径桩（$d \leqslant 250$mm）、中等直径桩（250mm $< d <$ 800mm）、大直径桩（$d \geqslant 800$mm）。

3.2 钢筋混凝土预制桩

钢筋混凝土预制桩是我国广泛应用的桩型之一，它具有承载能力大、坚固耐久、施工速度快、制作容易、施工简单等优点，但施工时噪声较大，对周围环境的影响较严重，在城市施工受到很大的限制。钢筋混凝土预制桩分为方形实心断面桩和圆柱体空心断面桩两种，最常用的是前者。

实心混凝土方桩截面边长通常为 200 ～ 550mm，长 7 ～ 25m，可在现场预制或在工厂制作成单根桩或多节桩。

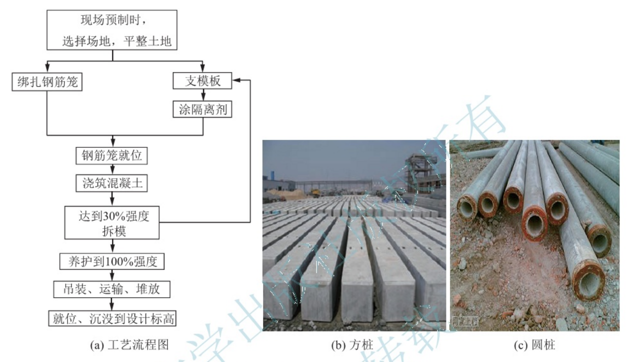
混凝土空心管桩外径一般为 300 ～ 550mm，每节长度为 4 ～ 12m，管壁厚为 80 ～ 100mm，在工厂内采用离心法制成，与实心桩相比可大大减轻桩的自重。

3.2.1 钢筋混凝土预制桩打桩前的施工工艺

1. 预制

混凝土预制桩可在工厂或施工现场预制。制桩模板采用木模板或钢模板，支在坚实平整的场地上，模板应平整牢固，尺寸准确。用间隔重叠法生产，桩头部分使用钢模板堵头板，并与两侧模板相互垂直；桩与桩之间应涂刷隔离剂，桩与邻桩及底模板之间的

接触面不得粘连；邻桩与上层桩的混凝土浇筑必须待邻桩或下层桩的混凝土达到设计强度的 30% 时方可进行；桩的重叠层数一般不宜超过 4 层。长桩可分节制作，单节长度应满足桩架的有效高度、制作场地条件、运输与装卸能力等方面的要求，并应避免在桩尖接近硬持力层时或桩尖处于硬持力层中接桩。如图 3.2 所示为钢筋混凝土预制桩制作工艺流程图和工厂图片。



(a) 工艺流程图　　(b) 方桩　　(c) 圆桩

图 3.2　钢筋混凝土预制桩制作工艺流程图和工厂图片

混凝土强度等级应不低于 C30，粗骨料用粒径 5 ～ 40mm 的碎石或卵石，用机械拌制混凝土，坍落度不大于 60mm。混凝土浇筑应由桩顶向桩尖方向连续浇筑，不得中断，并应防止一端砂浆积聚过多。浇筑完毕应覆盖、洒水养护不少于 7d，如用蒸汽养护，在蒸养后，尚应适当自然养护，达到设计强度等级后方可使用。

2. 起吊

起吊、运输和堆放：预制桩强度达到设计强度的 70% 后方可起吊。起吊时，吊点位置应符合设计计算规定，常见的几种吊点合理位置如图 3.3 所示。如吊点处未设吊环，则起吊时可采用捆绑起吊，在吊索与桩身接触处应加垫层，以免损坏棱角或桩身表面。起吊时应平稳提升，吊点同时离地。

3. 运输

预制桩强度达到设计强度 100% 后方可进行运输。运输时，桩的支承点应与吊点位置一致，应做到桩身平稳放置，无大的振动，严禁在场地上以直接拖拉桩体方式代替装车运输。经过搬运的桩，还应进行质量复查。

4. 堆放

堆放桩的场地应平整、坚实，排水良好。桩应按规格、桩号分层叠置，支承点垫木

位置应与吊点位置相同，各层垫木应上下对齐，并位于同一垂直线上，支承平稳，堆放层数不宜超过4层。桩应堆置在打桩架附设的起重钩工作半径范围内，并考虑起重方向，避免空中转向。

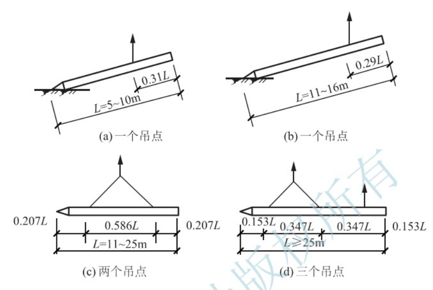


图 3.3　吊点的合理位置

5. 打桩前的准备

桩基础工程在施工前，应根据工程规模的大小和复杂程度，编制整个分部工程施工组织设计或施工方案。

打桩前，宜向城市管理、供水、供电、煤气、电信、房管等有关单位提出要求，认真处理高空、地上和地下的障碍物，然后对现场周围（一般为10m以内）的建筑物、地下管线等做全面检查，必须予以加固或采取隔振措施或拆除，以免打桩中由于振动的影响，可能引起倒塌等。打桩场地必须平整、坚实，必要时宜铺设道路，经压路机碾压密实，场地四周应挖排水沟，以利于排水。

在打桩现场附近设水准点，其位置应不受打桩影响，数量不得少于两个，用以抄平场地和检查桩的入土深度。要根据建筑物的轴线控制桩，定出桩基础的每个桩位，可用小木桩标记。正式打桩之前，应对桩基的轴线和桩位复查一次，以免因小木桩挪动、丢失而影响施工。桩位放线允许偏差为20mm。

检查打桩机设备及起重工具，铺设水电管网，进行设备架立组装和试打桩。在桩架上设置标尺或在桩的侧面画上标尺，以便能观测桩身入土深度。施工前应做数量不少于2根桩的打桩工艺试验，用以了解桩的沉入时间、最终沉入度、持力层的强度、桩的承载力以及施工过程中可能出现的各种问题和反常情况等，以便检验所选的打桩设备和施工工艺是否符合设计要求。

3.2.2　打桩机械设备及选用

打桩所用的机械设备主要由桩锤、桩架及动力装置三部分组成。桩锤是对桩施加冲击力，将桩打入土中的机具；桩架的主要作用是支持桩身和桩锤，并在打入过程中引导

桩的方向不偏移；动力装置一般包括启动桩锤用的动力设施，取决于所选桩锤，如采用蒸汽锤时，则需配蒸汽锅炉、卷扬机等。

1. 桩锤

1）选择桩锤类型

常用的桩锤有落锤、柴油桩锤、单动汽锤、双动汽锤、振动桩锤、液压桩锤等。桩锤的工作原理、适用范围和特点见表 3-1。

表 3-1　各类桩锤的工作原理、适用范围及特点

桩锤种类	工作原理	适用范围	特点
落锤	用人力或卷扬机提起桩锤，然后自由下落，利用锤的重力夯击桩顶，使桩沉入土中	1. 适宜于打木桩及细长尺寸的钢筋混凝土预制桩 2. 在一般土层、黏土和含有砾石的土层均可使用	1. 装置简单，使用方便，费用低 2. 冲击力大，可调整锤重和落距，以简便地改变打击能力 3. 锤击速度慢（每分钟为6～20次），桩顶部易打坏，效率低
柴油桩锤	以柴油为燃料，利用冲击部分的冲击力和燃烧压力为驱动力，引起锤头跳动夯击桩顶	1. 适宜于打各种桩 2. 适宜于一般土层中打桩	1. 质量轻，体积小，打击能量大 2. 不需外部能量，机动性强，打桩快，桩顶不易打坏，燃料消耗少 3. 振动大，噪声大，润滑油飞散，遇硬土或软土不宜使用
单动汽锤	利用外供蒸汽或压缩空气的压力将冲击体托升至一定高度，配气阀释放出蒸汽，使其自由下落锤击打桩	1. 适宜于打各种桩，包括打斜桩和水中打桩 2. 尤其适宜于套管法打灌注桩	1. 结构简单，落距小，精度高，桩头不易损坏 2. 打桩速度及冲击力较落锤大，效率较高（每分钟为 25 ～ 30 次）
双动汽锤	利用蒸汽或压缩空气的压力将锤头上举及下冲，增加夯击能量	1. 适于打各种桩，并可打斜桩和水中打桩 2. 适应各种土层 3. 可用于拔桩	1. 冲击力大，工作效率高（每分钟为 100 ～ 200 次） 2. 设备笨重，移动较困难
振动桩锤	利用锤高频振动，带动桩身振动，使桩身周围的土体产生液化，减小桩侧与土体间的摩阻力，将桩沉入或拔出土中	1. 适于施打一定长度的钢管桩、钢板桩、钢筋混凝土预制桩和灌注桩 2. 适用于粉质黏土、松砂、黄土和软土，不宜用于岩石、砾石和密实的黏性土层	1. 施工速度快，使用方便，施工费用低，施工无公害污染 2. 结构简单，维修保养方便 3. 不适宜于打斜桩
液压锤桩	单作用液压锤是冲击块通过液压装置提升到预定的高度后快速释放，冲击块以自由落体方式打击桩体。而双作用液压锤是冲击块通过液压装置提升到预定的高度后，再次从液压系统获得加速度能量来提高冲击速度，打击桩体	1. 适宜于打各种桩 2. 适宜于一般土层中打桩	1. 施工无公害污染，打击力峰值小，桩顶不易损坏，可用于水下打桩 2. 结构复杂，保养与维修工作量大，价格高，冲击频率小，作业效率较低

2）选择桩锤重量

桩锤类型决定以后，还必须合理选用锤重。施工中宜选择重锤低击。桩锤过重，所需动力设备也大，不经济；桩锤过轻，必将加大落距，锤击功能很大部分被桩身吸收，桩不易打入，使锤击次数过多，且桩容易被打坏；桩锤过重，使桩顶锤击应力过大，易造成混凝土破碎。因此，应选择稍重的锤，用重锤低击和重锤快击的方法效果较好。锤重一般根据地质条件、桩型、桩的密集程度、单桩竖向承载力及现有施工条件等选择。表 3-2 为锤重选择表示例。

表 3-2　锤重选择表示例

锤　型			柴油锤 /t					
			2.0	2.5	3.5	4.5	6.0	7.2
锤的动力性能		冲击部分重 /t	2.0	2.5	3.5	4.5	6.0	7.2
		总重 /t	4.5	6.5	7.2	9.6	15.0	18.0
		冲击力 /kN	2000	2000 ～ 2500	2500 ～ 4000	4000 ～ 5000	5000 ～ 7000	7000 ～ 10000
		常用冲程 /m	1.8 ～ 2.3					
适用的桩规格		预制方桩、预应力管桩的边长或直径 /mm	250 ～ 350	350 ～ 400	400 ～ 450	450 ～ 500	500 ～ 550	550 ～ 600
		钢管桩直径 /mm	400	400	400	600	900	900 ～ 1000
持力层	黏性土、粉土	一般进入深度 /m	1 ～ 2	1.5 ～ 2.5	2 ～ 3	2.5 ～ 3.5	3 ～ 4	3 ～ 5
		静力触探比贯入阻力 p_s 平均值 /MPa	3	4	5	＞ 5	＞ 5	＞ 5
	砂土	一般进入深度 /m	0.5 ～ 1	0.5 ～ 1.5	1 ～ 2	1.5 ～ 2.5	2 ～ 3	2.5 ～ 3.5
		标准贯入度击数 / 击	15 ～ 25	20 ～ 30	30 ～ 40	40 ～ 45	45 ～ 50	50
锤的常用控制贯入度 /(cm/10 击)			–	2 ～ 3	–	3 ～ 5	4 ～ 8	–
设计单桩极限承载力 /kN			400 ～ 1200	800 ～ 1600	2500 ～ 4000	3000 ～ 5000	5000 ～ 7000	7000 ～ 10000

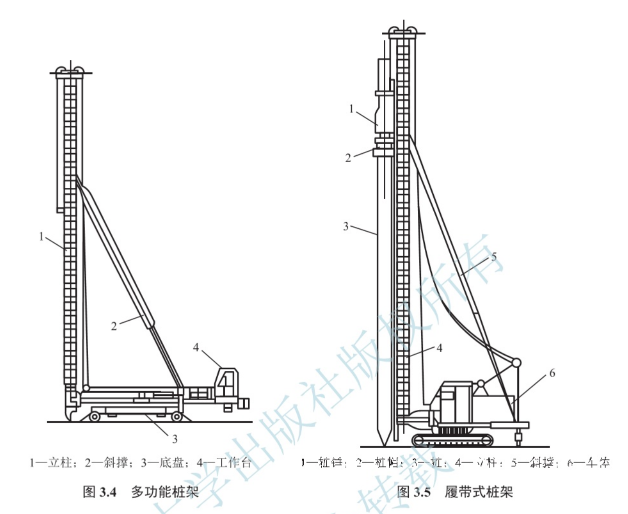
2. 桩架

桩架的形式有多种，常用的桩架（能适应多种桩锤）有两种基本形式：一种是沿轨道行驶的多功能桩架，另一种是安装在履带底盘上的履带式桩架。

多功能桩架由立柱、斜撑、回转工作台、底盘及传动机构组成，如图 3.4 所示。这种桩架的机动性和适应性很大，在水平方向可做 360° 回转，立柱可前后倾斜，可适应各种预制桩及灌注桩施工。其缺点是机构庞大，组装、拆卸较麻烦。

履带式桩架以履带式起重机为底盘，增加立柱与斜撑用以打桩，如图 3.5 所示。此种桩架性能灵活，移动方便，适应各种预制桩及灌注桩施工。





1—立柱；2—斜撑；3—底盘；4—工作台

图 3.4　多功能桩架

1—桩锤；2—桩帽；3—桩；4—立柱；5—斜撑；6—车体

图 3.5　履带式桩架

选择桩架时应考虑：①桩的材料、材质、断面形状与尺寸，桩长和接桩方式；②桩的种类、数量、桩施工精度要求；③施工场地条件，作业环境，作业空间；④所选定的桩锤的形式、质量和尺寸；⑤投入桩架数量；⑥施工进度要求。

桩架高度一般可按桩长需要分节接长，桩架高度应满足以下要求：桩架高度 = 单节桩长 + 桩帽高度 + 桩锤高度 + 滑轮组高度 + 起锤位移高度（1 ～ 2m）。

3.2.3　锤击沉桩法

1. 打桩前的准备工作

(1) 整平压实场地，清除打桩范围内的高空、地面、地下障碍物，架空高压线距打桩架不得小于 10m；修筑桩机进出、行走道路，平整压实场地，做好排水措施。

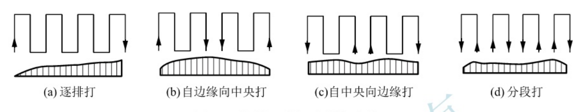
(2) 测量放线，定出桩基轴线并定出桩位，在不受打桩影响的适当位置设置不少于 2 个水准点，以便控制桩的入土标高。

(3) 接通现场的水、电管线，进行设备架立组装和试打桩。

(4) 打桩场地建筑物（或构筑物）有防震要求时，应采取必要的防护措施。

2. 打桩顺序

打桩顺序是否合理，会直接影响打桩速度、打桩工程质量及周围环境。当桩距小于4倍桩的边长或桩径时，打桩顺序尤为重要。打桩前应根据桩的密集程度、桩的规格、长短和桩架移动方便来正确选择打桩顺序。打桩顺序一般有逐排打、自边缘向中央打、自中央向边缘打和分段打四种，如图3.6所示。



(a) 逐排打　(b) 自边缘向中央打　(c) 自中央向边缘打　(d) 分段打

图 3.6　打桩顺序与土体挤密情况

当桩不太密集，桩的中心距大于或等于4倍桩的直径时，可采取逐排打桩和自边缘向中央打桩的顺序。逐排打桩时，桩架单向移动，桩的就位与起吊均很方便，故打桩效率较高。但当桩较密集时，逐排打桩会使土体向一个方向挤压，导致土体挤压不均匀，后面的桩不容易打入，最终会引起建筑物的不均匀沉降。自边缘向中央打桩，当桩较密集时，中间部分土体挤压较密实，桩难以打入，而且在打中间桩时，外侧的桩可能因挤压而浮起。因此这两种打设方法适用于桩不太密集时施工。

当桩较密集时，即桩的中心距小于4倍桩的直径时，一般情况下应采用自中央向边缘打和分段打。按这两种打桩方式打桩时土体由中央向两侧或向四周均匀挤压，易于保证施工质量。

当桩的规格、埋深、长度不同，且桩较密集时，宜先大后小，先深后浅，先长后短打设，这样可避免后施工的桩对先施工的桩产生挤压而发生桩位偏斜。当一侧毗邻建筑物时，由毗邻建筑物处向另一方向打设。

3. 打桩施工

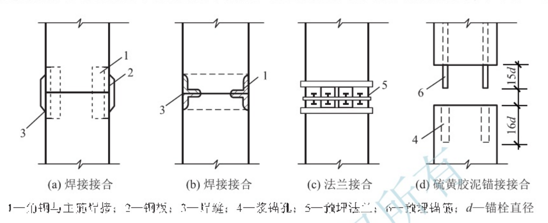
(1) 吊桩就位。打桩机就位后，将桩锤和桩帽吊起，然后吊桩并送至导杆内，垂直对准桩位，在桩的自重和锤重的压力下，缓缓送下插入土中，桩插入时的垂直度偏差不得超过0.5%。桩插入土后即可固定桩帽和桩锤，使桩、桩帽、桩锤在同一铅垂线上，确保桩能垂直下沉。在桩锤和桩帽之间应加弹性衬垫，如硬木、麻袋、草垫等；桩帽和桩顶周围四边应有5～10mm的间隙，以防损伤桩顶。

(2) 打桩。打桩开始时，应选较小的桩锤落距，一般为0.5～0.8m，以保证桩能正常沉入土中。待桩入土一定深度（1～2m），桩尖不易产生偏移时，再按要求的落距锤击。打桩时宜用重锤低击。用落锤或单动汽锤打桩时，最大落距不宜大于1m；用柴油桩锤时，应使锤跳动正常。在整个打桩过程中应做好测量和记录工作，遇有贯入度剧变、桩身突然发生倾斜、移位或有严重回弹、桩顶或桩身出现严重裂缝或破碎等异常情况时，应暂停打桩，及时研究处理。

(3) 送桩。如桩顶标高低于地面，则需用送桩管将桩送入土中。送桩时，桩与送桩管的纵轴线应在同一直线上，锤击送桩将桩送入土中。送桩结束，拔出送桩管后，桩孔应及时回填或加盖。

4. 接桩

钢筋混凝土预制长桩，受运输条件和桩架高度限制，一般分成若干节预制，分节打入，在现场进行接桩。常用接桩的方法有焊接法、法兰接法和硫黄胶泥锚接法等，如图 3.7 所示。



1—角钢与主筋焊接；2—钢板；3—焊缝；4—浆锚孔；5—预埋法兰；6—预埋锚筋；d—锚栓直径

图 3.7　接桩的方法

(1) 焊接法接桩。焊接法接桩的节点构造如图 3.7(a)、(b) 所示。接桩时，必须对准下节桩并垂直无误后，用点焊将拼接角钢连接固定，再次检查位置正确无误后，则进行焊接。施焊时，两人应同时对角对称地进行，以防止节点变形不均匀而引起桩身歪斜，焊缝要连续饱满。

(2) 法兰接桩。法兰接桩法节点构造如图 3.7(c) 所示。它是用法兰盘和螺栓连接，其接桩速度快，但耗钢量大，多用于混凝土管桩。

(3) 硫黄胶泥锚接法接桩。硫黄胶泥锚接法接桩节点构造如图 3.7(d) 所示。接桩时，首先将上节桩对准下节桩，使四根锚筋插入锚筋孔（孔径为锚筋直径的 2.5 倍），下落上节桩身，使其结合紧密。然后将桩上提约 200mm（以四根锚筋不脱离锚筋孔为度），安设好施工夹箍（由四块木板，内侧用人造革包裹 40mm 厚的树脂海绵块而成），将熔化的硫黄胶泥注满锚筋孔和接头平面上，然后将上节桩下落。当硫黄胶泥冷却并拆除施工夹箍后，可继续加荷施压。硫黄胶泥锚接法接桩，可节约钢材，操作简便，接桩时间比焊接法要大为缩短，但不宜用于坚硬土层中。

5. 截桩

当预制钢筋混凝土桩的桩顶露出地面并影响后续桩施工时，应立即进行截桩头。截桩头前，应测量桩顶标高，将桩头多余部分凿去。截桩一般可采用人工或风动工具（如风镐等）方法来完成。截桩时不得把桩身混凝土打裂，并保证桩身主筋伸入承台内。其锚固长度必须符合设计规定。一般桩身主筋伸入混凝土承台内的长度：受拉时不少于 25 倍主筋直径；受压时不少于 15 倍主筋直径。主筋上所粘的混凝土碎块要清除干净。

6. 打桩质量要求及控制

1）打桩停锤的控制原则

为保证打桩质量，应遵循以下停打控制原则：①摩擦桩以控制桩端设计标高为主，贯入度可作参考；②端承桩以贯入度控制为主，桩端标高可作参考；③贯入度已达到而桩端标高未达到时，应继续锤击 3 阵，按每阵 10 击的平均贯入度不大于设计规定的数值

加以确认，必要时施工控制贯入度应通过试验与相关单位会商确定。此处的贯入度是指桩最后10击的平均入土深度。

2）打桩允许偏差

桩平面位置的偏差：单排桩不大于100mm，多排桩一般为0.5～1个桩的直径或边长；桩的垂直偏差应控制在0.5%之内；按标高控制的桩，桩顶标高的允许偏差为-50～+100mm。

3）承载力检查

施工结束后应对承载力进行检查。桩的静载荷试验根数应不少于总桩数的1%，且不少于3根；当总桩数少于50根时，应不少于2根；当施工区域地质条件单一，又有足够的实际经验时，可根据实际情况由设计人员酌情而定。

4）打桩过程控制

打桩时，如果沉桩尚未达到设计标高，而贯入度突然变小，则土层中央可能有硬土层，或遇到孤石等障碍物，此时应会同设计勘探部门共同研究解决，不能盲目施打。打桩时，若桩顶或桩身出现严重裂缝、破碎等情况时，应立即暂停，分析原因，在采取相应的技术措施后，方可继续施打。

打桩时，除了注意桩顶与桩身由于桩锤冲击被破坏外，还应注意桩身受锤击应力而导致的水平裂缝。在软土中打桩，桩顶以下1/3桩长范围内常会因反射的应力波使桩身受拉而引起水平裂缝，开裂的地方常出现在易形成应力集中的吊点和蜂窝处，采用重锤低击和较软的桩垫可减少锤击拉应力。

5）打桩对周围环境的影响控制

打桩时，邻桩相互挤压导致桩位偏移，产生浮桩，则会影响整个工程质量。在已有建筑群中施工，打桩还会引起已有地下管线、地面交通道路和建筑物的损坏和不安全。为避免或减小沉桩挤土效应和对邻近建筑物、地下管线等的影响，施打大面积密集桩群时，可采取下列辅助措施：①预钻孔沉桩，预钻孔孔径比桩径（或方桩对角线）小50～100mm，深度视桩距和土的密实度、渗透性而定，深度宜为桩长的1/3～1/2，施工时应随钻随打，桩架宜具备钻孔和锤击双重性能；②设置袋装砂井或塑料排水板消除部分超孔隙水压力，减少挤土现象；③设置隔离板桩或开挖地面防振沟，消除部分地面振动；④沉桩过程应加强邻近建筑物、地下管线等的观测、监护。

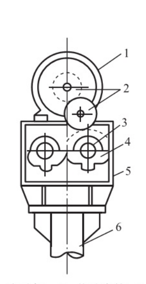
3.2.4　振动沉桩法

振动沉桩法与锤击沉桩法的原理基本相同，不同之处是用振动箱代替桩锤。振动沉桩机（图3.8）由电动机、弹簧支承、偏心振动块和桩帽组成。振动机内的偏心振动块分左、右对称两组，其旋转速度相等，方向相反。所以，工作时两组偏心振动块的离心力的水平分力相抵消，但垂直分力则相叠加，形成垂直方向的振动力。由于桩与振动机是刚性连接在一起的，故桩也随着振动力沿垂直方向振动而下沉。

振动沉桩法主要适用于砂石、黄土、软土和亚黏土，在含水砂层中的效果更为显著，但在砂砾层中采用此方法时，尚需配以水冲法。沉桩工作应连续进行，以防间歇过久而难以沉下。

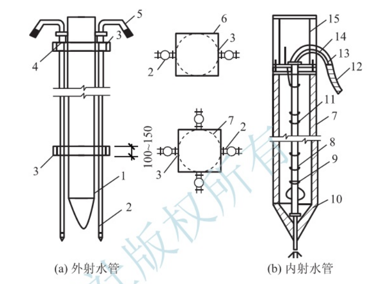
3.2.5　射水法沉桩

射水法沉桩又称水冲法沉桩，是将射水管附在桩身上，用高压水流束将桩尖附近的土体冲松液化，桩借自重（或稍加外力）沉入土中，如图 3.9 所示。



1—电动机；2—传动齿轮；3—轴；4—偏心块；5—箱壳；6—桩

图 3.8　振动沉桩机



(a) 外射水管　　(b) 内射水管

1—预制实心桩；2—外射水管；3—夹箍；4—木楔打紧；5—胶管；6—两侧外射水管夹箍；7—管桩；8—射水管；9—导向环；10—挡砂板；11—保险钢丝绳；12—弯管；13—胶管；14—电焊加强圆钢；15—钢板桩

图 3.9　射水法沉桩装置

射水法沉桩一般配以锤击或振动相辅使用。沉桩时，应使射水管末端经常处于桩尖以下 0.3 ～ 0.4m 处。射水进行中，射水管和桩必须垂直，并要求射水均匀，水冲压力一般为 0.5 ～ 1.6MPa。施工时，桩下沉缓慢时，可开锤轻击，下沉转快时，停止锤击。当桩沉至距设计标高 0.5 ～ 2m 时，应停止射水，拔出射水管，用锤击法或振动法打至设计标高，以免将桩尖处土体冲坏，降低桩的承载力。

在坚实的砂土中沉桩，桩难以打下时，使用射水法可防止将桩打断、打坏桩头，比锤击法可提高工效 2 ～ 4 倍，但需一套冲水装置。射水法沉桩最适用于坚实砂土或砂砾石土层中桩的施工，在黏性土中也可使用。

3.2.6　静力压桩法

静力压桩法是用静力压桩机将预制钢筋混凝土桩分节压入地基土层中成桩。该方法施工无噪声、无振动、无污染；不会打碎桩头，桩截面可以减小，混凝土强度等级可降低，配筋比锤击法可省 40%；桩定位精确，不易产生偏心，可提高桩基施工质量，施工速度快；自动记录压桩力，可预估和验证单桩承载力，施工安全可靠。但存在压桩设备较笨重，要求边桩中心到已有建筑物的间距较大，压桩力受一定的限制，有挤土效应等问题。静力压桩法适用于软土、填土及一般黏性土层中，特别适合于居民稠密及附近环境保护要求严格的地区沉桩；但不适用于地下有较多孤石、障碍物或有厚度大于 2m

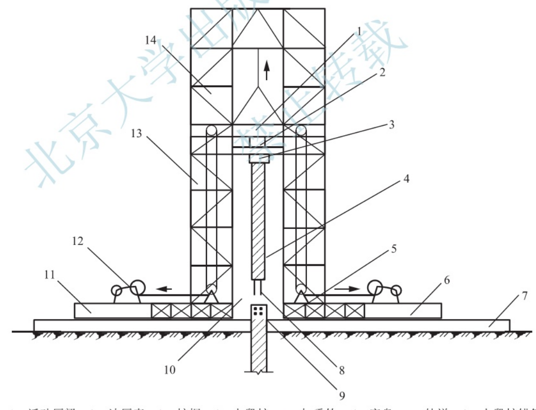
的中密以上砂夹层的情况。

静力压桩机目前主要使用的是液压式。液压式静力压桩机由液压吊装机构、液压夹持器、压桩机构、行走及回转机构等组成，如图 3.10 所示。

压桩时，一般都采取分段压入，逐段接长施工。静力压桩施工程序为：测量定位→压桩机就位→吊桩、插桩→桩身对中调直→静压沉桩→接桩→再静压沉桩→送桩→终止压桩→切割桩头。

施工时，压桩机应根据土质情况配足额定重量，桩帽、桩身和送桩的中心线应重合。压桩应连续进行，如需接桩，可压至桩顶离地面 0.5 ～ 1.0m，用硫黄胶泥锚接法将桩接长。用硫黄胶泥接桩间歇不宜过长（正常气温下为 10 ～ 15min）；接桩面应保持干净，浇筑时间不应超过 2min，上下桩中心线应对齐，偏差不大于 10mm；节点矢高不得大于 1‰桩长。如压桩时桩身发生较大移位、倾斜，或桩身突然下沉或倾斜；桩顶混凝土破坏或压桩阻力剧变时，则应暂停压桩，及时研究处理。当桩歪斜时，可利用压桩油缸回程，将压入土层中的桩拔出，实现拔桩作业。

压桩应控制好终止条件。对纯摩擦桩，终压时以设计桩长为控制条件；对长度大于 20m 的端承摩擦型静压桩，终压时应以设计桩长控制为主，终压力值作为参考；超载压桩时，一般不宜采用满载连续复压法，但在必要时可以进行复压，复压的次数不宜超过 2 次。



1—活动压梁；2—油压表；3—桩帽；4—上段桩；5—加重钩；6—底盘；7—轨道；8—上段桩锚筋；9—下段桩锚筋孔；10—导笼孔；11—操作平台；12—卷扬机；13—滑轮组；14—桩架

图 3.10　液压静力压桩机

3.2.7 打(沉)桩施工常见问题及防治措施

打(沉)桩施工常见问题及防治措施见表 3-3。

表 3-3 打(沉)桩施工常见问题及防治措施

问　题	产生的主要原因	防治措施
桩顶击碎	1. 混凝土强度设计等级偏低 2. 混凝土施工质量不良 3. 桩锤选择不当。桩锤锤重过小或过大，造成混凝土破碎 4. 桩顶与桩帽接触不平，桩帽变形倾斜或桩沉入土中不垂直，造成桩顶局部应力集中而将桩头打坏	1. 合理设计桩头，保证有足够的强度 2. 严格控制桩的制作质量，支模正确、严密，使制作偏差符合规范要求 3. 根据桩、土质情况，合理选择桩锤 4. 经常检查桩帽与桩顶的接触面处及桩帽垫木是否平整，如不平整应进行处理后方能施打，并应及时更换缓冲垫
沉桩达不到设计控制要求（桩未达到设计标高或最后沉入度控制指标要求）	1. 桩锤选择不当，桩锤太小或太大，使桩沉不到或超过设计要求的控制标高 2. 地质勘察不充分，持力层起伏标高不明，致使设计桩尖标高与实际不符；沉桩遇地下障碍物，如大块石、坚硬土夹层、砂夹层或旧埋置物 3. 桩距过密或打桩顺序不当；打桩间歇时间过长，阻力增大	1. 根据地质情况，合理选择施工机械、桩锤大小 2. 详细探明工程地质情况，必要时应作补勘，探明地下障碍物，并进行清除或钻透处理 3. 确定合理的打桩顺序；打桩应连续打入，不宜间歇时间过长
桩倾斜、偏移	1. 桩制作时桩身弯曲超过规定；桩顶不平，致使沉入时发生倾斜 2. 施工场地不平、地表松软，导致沉桩设备及导杆倾斜，引起桩身倾斜；稳桩时桩不垂直，桩帽、桩锤及桩身不在同一直线上 3. 接桩位置不正，相接的两节桩不在同一轴线上，造成歪斜 4. 桩入土后，遇到大块孤石或坚硬障碍物，使桩向一侧偏斜 5. 桩距太近，邻桩打桩时产生土体挤压	1. 沉桩前，检查桩身弯曲，超过规范允许偏差的不宜使用 2. 安设桩架的场地应平整、坚实，打桩机底盘应保持水平；随时检查、调正桩机及导杆的垂直度，并保证桩锤、桩帽与桩身在同一直线上 3. 接桩时，严格按操作要求接桩，保证上、下节桩在同一轴线上 4. 施工前用钎或洛阳铲探明地下障碍物，较浅的挖除，较深的用钻机钻透 5. 合理确定打桩顺序 6. 若偏移过大，应拔出，移位再打；若偏移不大，可顶正后再慢锤打入
桩身断裂（沉桩时，桩身突然倾斜错位，贯入度突然增大，同时当桩锤跳起后，桩身随之出现回弹）	1. 桩身有较大弯曲，打桩过程中，在反复集中荷载作用下，当桩身承受的抗弯强度超过混凝土抗弯强度时，即产生断裂 2. 桩身局部混凝土强度不足或不密实，在反复施打时导致断裂；桩在堆放、起吊、运输过程中操作不当，产生裂纹或断裂 3. 沉桩遇地下障碍物，如大块石、坚硬土夹层、砂夹层或旧埋置物	1. 检查桩外形尺寸，发现弯曲超过规定或桩尖不在桩纵轴线上时，不得使用 2. 桩制作时，应保证混凝土配合比正确，振捣密实，强度均匀；桩在堆放、起吊、运输过程中，应严格按操作规程，发现桩超过有关验收规定时不得使用 3. 施工前查清地下障碍物并清除 4. 断桩可采取在一旁补桩的办法处理

3.3 钢筋混凝土灌注桩

灌注桩是直接在施工现场的桩位上先成孔，然后在孔内安放钢筋笼灌注混凝土而成的。灌注桩具有节约材料、施工时无振动、无挤土、噪声小等优点。但灌注桩施工操作要求严格，施工后混凝土需要一定的养护期，不能立即承受荷载，施工工期较长，成孔时有大量土渣或泥浆排出，在软土地基中易出现缩颈、断裂等质量事故。

根据成孔方法的不同，灌注桩可分为干作业成孔灌注桩、泥浆护壁成孔灌注桩、套管成孔灌注桩、人工挖孔灌注桩等。

3.3.1 干作业成孔灌注桩

干作业成孔灌注桩适用于地下水位以上的黏性土、粉土、填土、中等密实以上的砂土、风化岩层，成孔时不必采取护壁措施而直接取土成孔。



图 3.11 全叶螺旋钻机

干作业成孔机械采用螺旋钻机（图 3.11）。螺旋钻机是利用电动机带动钻杆转动，使钻头螺旋叶片旋转削土，土块沿螺旋叶片上升排出孔外。在软塑土层中或含水量大时，可用疏纹叶片钻杆，以便较快地钻进。在可塑或硬塑黏土中，或含水量较小的砂土中，应用密纹叶片钻杆，缓慢、均匀地钻进。成孔直径一般为 300 ～ 500mm，最大可达800mm，钻孔深度为 8 ～ 12m。

钻孔时钻杆应保持垂直稳固，位置正确，防止因钻杆晃动而引起孔径扩大；钻孔过程中若发现钻杆摇晃或难钻进时，可能是遇到石块等异物，应立即停机检查，钻进速度应根据电流值变化及时调整。在钻进过程中，应随时清理孔口积土，遇到地下水、塌孔、缩孔等异常情况，应及时处理。当钻到设计标高时，应先在原位空钻清土，然后停钻，提出钻杆弃土。清孔后孔内虚土厚度要求如下：以摩擦力为主的桩，沉渣允许厚度不得大于 300mm；以端承力为主的桩，沉渣允许厚度不得大于 100mm。若孔底虚土超过相关规范允许的厚度，应掏土或二次投钻清孔，然后保护好孔口。清孔后应及时放入钢筋笼，浇筑混凝土，随浇随振，每次浇筑高度不得大于 1.5m。

3.3.2 泥浆护壁成孔灌注桩

泥浆护壁成孔灌注桩是用利用原土自然造浆或人工造浆浆液进行护壁，通过循环泥浆将被钻头切下的土块挟带出孔外成孔，然后安放绑扎好的钢筋骨架，水下灌注混凝土而成桩。该桩适用于地下水位以下的黏性土、粉土、砂土、填土、碎（砾）石土及风化岩层，以及地质情况复杂、夹层多、风化不均、软硬变化较大的岩层，但在岩溶发育地区应慎重使用。

1. 泥浆护壁成孔灌注桩成孔机械

常用的泥浆护壁成孔机械有回转钻机、潜水电钻机、冲击式钻机等。

1）回转钻机

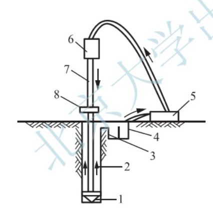
回旋钻机是由动力装置带动钻机的回旋装置转动，再由其带动带有钻头的钻杆转动，由钻头切削土壤，切削形成的土渣通过泥浆循环排出。

回转钻机成孔可用于各种地质条件、各种大小孔径和深度成孔，护壁效果好，成孔质量可靠，施工无噪声、无振动、无挤压，设备简单，操作方便，费用较低，为国内最常用的成桩方法之一。但其成孔速度慢、效率低，用水量大，泥浆排放量大，污染环境，扩孔率较难控制。回转钻机适用于地下水位较高的软、硬土层，如淤泥、黏性土、砂土、软质岩层等。

根据泥浆循环方式的不同，回转钻机分为正循环回转钻机和反循环回转钻机。

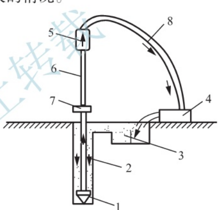
(1) 正循环回转钻机成孔。正循环回转钻机成孔的工艺如图 3.12 所示。由空心钻杆内部通入泥浆或高压水，从钻杆底部喷出，然后携带钻下的土渣沿孔壁向上流动，由孔口将土渣带出，流入泥浆池，经沉淀的泥浆再注入钻杆，由此进行循环。由于正循环工艺是依靠泥浆向上的流动将泥浆提升，提升力较小，孔底沉渣较多，适用于孔浅、孔径不大的情况。

(2) 反循环回转钻机成孔。反循环回转钻机成孔的工艺如图 3.13 所示。泥浆由钻杆与孔壁间的环状间隙流入钻孔，然后由砂石泵在钻杆内形成真空，使钻下的土渣由钻杆内腔吸出至地面而流入沉淀池。反循环回转钻机成孔工艺通过泵吸作用提升泥浆，其泥浆提升速度快，排渣能力强，适用于孔深、孔径大的情况。



1—钻头；2—泥浆循环方向；3—沉淀池；4—泥浆池；5—泥浆泵；6—水龙头；7—钻杆；8—钻机回转装置

图 3.12　正循环回转钻机成孔工艺原理图



1—钻头；2—新泥浆流向；3—沉淀池；4—砂石泵；5—水龙头；6—钻杆；7—钻杆回转装置；8—混合液流向

图 3.13　反循环回转钻机成孔工艺原理图

2）潜水电钻机

潜水电钻机由潜水电机、齿轮减速器、钻头、密封装置绝缘橡皮电缆，加上配套机具设备，如机架、卷扬机、泥浆配制系统设备、砂石泵等组成，如图 3.14 所示。潜水电钻机动力、变速机构和钻头连在一起，加以密封，因而可以下放至孔中地下水位以下进行切削土壤成孔。潜水电钻成孔的特点是钻机设备定型，体积较小，质量轻，移动灵活，维修方便，可钻深孔，成孔精度和效率高，质量好，钻进速度快，施工无噪声、无振动，操作简便，劳动强度低；但设备较复杂，费用较高。潜水电钻机适用于地下水位较高的软硬土层，如淤泥、淤泥质土、黏土、粉质黏土、砂土、砂夹卵石及风化页岩层中使用，

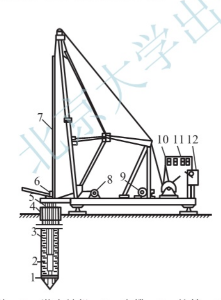
不得用于漂石。钻孔直径为 500 ～ 1500mm，钻孔深为 20 ～ 30m，最深可达到 50m。

潜水电钻成孔是利用潜水电钻机构中的密封的电动机、变速机构，直接带动钻头在泥浆中旋转削土，同时用泥浆泵压送高压泥浆（或用水泵压送清水）从钻头底端射出，与切碎的土颗粒混合，以正循环方式不断由孔底向孔口溢出，将泥渣排出，或用砂石泵或空气吸泥机采用反循环方式排除泥渣，如此连续钻进，直至形成需要深度的桩孔，浇筑混凝土成桩。

3）冲击式钻孔机

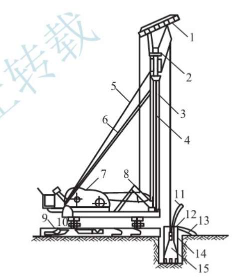
冲击式钻孔机由钻架、冲击钻头（又称冲锤）、转向装置、护筒、掏渣筒以及双筒卷扬机等组成，如图 3.15 所示。冲击成孔是用冲击式钻孔机或卷扬机悬吊冲击钻头上下往复冲击，将硬质土或岩层破碎成孔，部分碎渣和泥浆挤入孔壁中，大部分成为泥渣，用掏渣筒掏出成孔。

冲击式钻孔机成孔的特点是设备构造简单，适用范围广，操作方便，所成孔壁较坚实、稳定，塌孔少，不受施工场地限制，无噪声和振动影响等，因此被广泛地采用。但掏泥渣较费工费时，不能连续作业，成孔速度较慢，泥渣污染环境，孔底泥渣难以掏尽，使桩承载力不够稳定。冲击式钻孔机适用于黄土、黏性土或粉质黏土和人工杂填土层中，特别适于有孤石的砂砾石层、漂石层、坚硬土层、岩层中使用，对流砂层也可克服，但对于淤泥及淤泥质土，则要十分慎重；对于地下水大的土层，因会使桩端承载力和摩阻力大幅度降低，故不宜使用。



1—钻头；2—潜水钻机；3—电缆；4—护筒；5—水管；6—滚轮（支点）；7—钻杆；8—电缆盘；9—卷扬机；10—卷扬机；11—电流压力表；12—启动开关

图 3.14　潜水电钻机示意图



1—副滑轮；2—主滑轮；3—主杆；4—前拉索；5—后拉索；6—斜撑；7—双滚筒卷扬机；8—导向轮；9—垫木；10—钢管；11—供浆管；12—溢流口；13—泥浆流槽；14—护筒回填土；15—钻头

图 3.15　冲击式钻孔机示意图

2. 泥浆护壁成孔灌注桩施工

泥浆护壁成孔灌注桩施工工艺为：桩位放线→护筒埋设→钻机就位→成孔、泥浆循环、清除废浆、泥渣→清孔换浆→终孔验收→下钢筋笼和钢导管→灌注水下混凝土→成桩养护。

（1）埋设护筒。首先测定桩位，然后在桩位上埋设护筒，护筒一般由 3 ～ 5mm 厚钢

板做成，其内径应比钻头直径大 10cm，以便于钻头提升等操作。护筒的作用有三个：①起导向作用，使钻头能沿着桩位的垂直方向工作；②提高孔内泥浆水头，以防塌孔；③保护孔口。因此，护筒位置应准确，护筒中心线与桩位的中心线偏差不得大于 50mm。护筒的埋置应牢固密实，砂土中埋深不宜小于 1.5m，黏土中埋深不宜小于 1m，在护筒与坑壁间应用黏土分层夯实，必要时在面层铺设 20mm 厚水泥砂浆，以防漏水。在护筒上设有 1 ～ 2 个溢浆口，便于溢出的泥浆流回泥浆池进行回收，护筒露出地面 0.4 ～ 0.6m。泥浆护壁成孔时，宜采用孔口护筒，其作用是保证钻机沿着桩位垂直方向顺利工作，存储泥浆，使其高出地下水位和保护桩孔顶部土层不致因钻杆反复上下升降、机身振动而塌孔。

(2) 泥浆护壁。泥浆的作用是将孔内不同土层中的空隙渗填密实，使孔内渗漏水达最低限度，并维持孔内一定的水压以稳定孔壁，防止塌孔。在成孔过程中严格控制泥浆的相对密度很重要。

护壁泥浆一般由水、黏土（或膨润土）和添加剂按一定比例配制而成，可通过机械在泥浆池、钻孔中搅拌均匀。泥浆具有稳固土壁、防止塌孔、携砂排土、冷却和润滑钻机钻头的作用。泥浆的配置应根据钻孔的工程地质情况、孔位、钻机性能、循环方式等确定。泥浆的制备方法应根据土质的实际情况而确定。在黏性土中成孔，钻孔前只需调制少量的泥浆，以后在钻进过程中，利用地层黏性土造浆、补浆，泥浆的相对密度宜控制在 1.1 ～ 1.2 之间。在其他土层中成孔，泥浆制备应当用高塑性土或膨胀土在孔外泥浆池中进行，在砂质土层中，泥浆的相对密度应控制在 1.1 ～ 1.3 之间。

施工期间护筒内的泥浆面应高出地下水位 1.0m 以上，在受水位涨落影响时，泥浆面应高出最高水位 1.5m；在清孔过程中，应不断置换泥浆，直至浇筑水下混凝土；浇筑混凝土前，孔底 500mm 以内的泥浆的相对密度应小于 1.25，含砂率不大于 8%，黏度不大于 28s；在容易产生泥浆渗漏的土层中应采取维持孔壁稳定的措施。

(3) 清孔。钻孔达到要求的深度后，应进行清孔。在清孔过程中应不断置换泥浆，直至浇筑水下混凝土。以原土造浆的钻孔，清孔可用射水法，此时钻具只转不进，待排出泥浆的相对密度降到 1.1 左右即认为清孔合格；注入制备泥浆的钻孔，可采用换浆法清孔，至换出泥浆的相对密度小于 1.15 时方为合格。

(4) 放钢筋笼，水下浇筑混凝土。清孔后应及时吊放钢筋骨架并进行水下混凝土浇筑。水下浇筑的混凝土强度等级应不低于 C20，骨料粒径不宜大于 30mm，混凝土坍落度为 16 ～ 22cm。为了改善混凝土的和易性，可掺入减水剂和粉煤灰等掺合料。水泥强度等级不低于 32.5 级，每立方米混凝土水泥用量不小于 350kg。

浇筑水下混凝土采用导管灌注，导管的分节长度视工艺要求确定，接头宜用法兰或双螺纹方扣快速接头。导管提升时，不得挂住钢筋笼。开始浇筑水下混凝土时，为使隔水栓能顺利排出，导管底部至孔底的距离宜为 300 ～ 500mm。桩直径小于 600mm 时，可适当加大导管底部至孔底的距离。混凝土料斗中应有足够的混凝土储备量，混凝土灌注后能使导管一次埋入混凝土面下 0.8m 以上；混凝土浇筑中边灌注边提升导管，但应保证导管口始终埋置在混凝土内。导管埋深宜为 2 ～ 6m，严禁导管提出混凝土面，应有专人测量导管理深及管内外混凝土面的高差，填写水下混凝土浇筑记录。水下混凝土必须连续施工，每根桩的浇筑时间按混凝土的初凝时间控制。桩顶的浇筑标高比设计标高高

出 0.5 ～ 0.8m，以便凿除桩顶部的泛浆层后达到设计标高的要求。

3. 施工常见问题及防治措施

泥浆护壁灌注桩施工常见问题及防治措施见表 3-4。

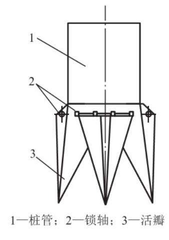
表 3-4 泥浆护壁灌注桩施工常见问题及防治措施

问题	产生的主要原因	防 治 措 施
塌孔	1. 土质松散 2. 泥浆质量不好 3. 护筒埋置太浅，护筒内水头压力不够 4. 成孔速度太快，孔壁上来不及形成泥膜	1. 保持或提高孔内水位 2. 加大泥浆稠度 3. 提高护筒内水位；护筒周围用黏土填封紧密 4. 成孔速度根据地质情况确定 5. 轻度塌孔，加大泥浆密度和提高水位；对严重塌孔，应全部回填，待回填沉积密实后再钻进
钻孔偏移	1. 钻机成孔时，遇不平整的岩层，土质软硬不均，或遇孤石，钻头所受阻力不均，造成倾斜 2. 钻头导向部分太短，导向性差 3. 地面不平或不均匀沉降，桩架不平稳	1. 在有倾斜状的软硬土层处钻进时，控制进尺速度以低速钻进，并提起钻头，上下反复扫钻几次，以便削去硬土层；如有探头石，宜用钻机钻透 2. 设置足够长度的钻头导向 3. 场地要平整，安装钻机时，调平桩架 4. 偏斜过大时，填入石子、黏土重新钻进，控制钻速，慢速上下提升、下降，往复扩孔纠正
护筒冒水	埋设护筒时，若周围填土不密实或者由于起落钻头时碰动了护筒，易造成护筒外壁冒水	初发现护筒冒水时，可用黏土在护筒四周填实加固。若护筒严重下沉或位移时，则返工重埋

3.3.3 套管成孔灌注桩

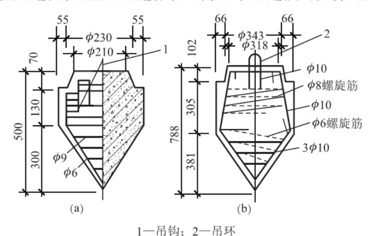
套管成孔灌注桩又称沉管灌注桩，根据使用桩锤和成桩工艺的不同，分为振动沉管灌注桩和锤击沉管灌注桩。

沉管灌注桩是用沉桩机将带有活瓣式桩尖（图 3.16）或钢筋混凝土预制桩靴（图 3.17）的桩管振动（或锤击）沉入土中，然后边浇筑混凝土、边振动（或锤击）、边拔出桩管而成桩。



1—桩管；2—锁轴；3—活瓣

图 3.16 活瓣式桩尖



1—吊钩；2—吊环

图 3.17 钢筋混凝土预制桩靴

1. 振动沉管灌注桩

振动沉管灌注桩适于在一般黏性土、淤泥、淤泥质土、粉土、湿陷性黄土、稍密及松散的砂土及回填土中使用。但在坚硬砂土、碎石土及有硬夹层的土层中，易损坏桩尖，因此不宜采用。

振动沉管灌注桩成桩工艺过程如图 3.18 所示。施工时，用桩架吊起钢套管，关闭活瓣或套入桩靴，然后缓缓放下套管，把桩尖压进土中。然后，开动振动箱，使桩管在强迫振动下沉入土中。沉管过程中，应经常探测管内有无水或泥浆，若发现水或泥浆较多，应拔出桩管，用砂回填桩孔后重新沉管；若发现地下水和泥浆进入套管，一般在沉入前先灌入 1m 高左右的混凝土或砂浆，封住活瓣桩尖缝隙，然后再继续沉入。桩管沉到设计标高后，停止振动，放入钢筋骨架，灌入混凝土，混凝土一般应灌满桩管或略高于地面，然后边拔边振。注意事项如下。

(1) 群桩基础和桩中心距小于 4 倍桩径的桩基，应提出保证相邻桩桩身质量的技术措施。

(2) 混凝土预制桩尖或钢桩尖的加工质量和埋设位置应与设计相符，桩管与桩尖的接触应有良好的密封性。

(3) 沉管全过程必须有专职记录员做好施工记录；每根桩的施工记录均应包括每米的锤击数和最后 1m 的锤击数；必须准确测量最后 3 阵，每阵 10 锤的贯入度及落锤高度。

(4) 混凝土的充盈系数不得小于 1.0；对于混凝土充盈系数小于 1.0 的桩，宜全长复打，对可能有断桩和缩颈桩的情况，应采用局部复打。成桩后的桩身混凝土顶面标高应不低于设计标高 500mm。全长复打桩的入土深度宜接近原桩长，局部复打应超过断桩或缩颈区 1m 以上。

(5) 全长复打桩施工时应遵守以下规定：第一次灌注混凝土应达到自然地面。应随拔管随清除粘在管壁上和散落在地面上的泥土。前后两次沉管的轴线应重合。复打施工必须在第一次灌注的混凝土初凝之前完成。

(6) 当桩身配有钢筋时，混凝土的坍落度宜为 8 ～ 10cm，素混凝土桩宜为 6 ～ 8cm。

1) 单打法、复打法、反插法的选用

振动沉管灌注桩的施工应根据土质情况和荷载要求，分别选用单打法、复打法、反插法等：单打法适用于含水量较小的土层，并采用预制桩尖；反插法及复打法适用于饱和土层。

(1) 单打法。即一次拔管。桩管内灌满混凝土后，先振动 5 ～ 10s，再开始拔管，应边振边拔，每拔 0.5 ～ 1.0m 后，停拔并振动 5 ～ 10s。如此反复，直至桩管全部拔出；在一般土层内，拔管速度宜为 1.2 ～ 1.5m/min，用活瓣桩尖时宜慢，用预制桩尖时可适当加快；在软弱土层中，宜控制在 0.6 ～ 0.8m/min。

(2) 复打法。即在同一桩位进行两次单打，或根据需要进行局部复打。复打施工必须在第一次浇筑的混凝土初凝之前完成，应随拔管随清除粘在管壁上和散落在地面上的泥土，同时前后两次沉管的轴线必须重合。复打法可消除混凝土缩颈，增大桩的断面，增加桩的承载力。

(3) 反插法。在套管内灌满混凝土后，先振动再开始拔管，每次拔管高度 0.5 ～ 1.0m，

向下反插深度 0.3 ～ 0.5m。如此反复进行，并始终保持振动，直至套管全部拔出地面。反插法能可消除混凝土缩颈，增大桩的断面，提高桩的承载能力。

通常情况下，单打法所成的桩截面比桩管可扩大 30%，复打法可扩大 80%，反插法可扩大 50% 左右。

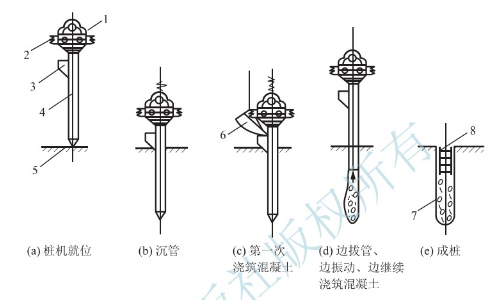


图 3.18 振动沉管灌注桩成桩工艺过程示意图

2）单打法、复打法、反插法的基本施工程序

(1) 桩机就位。将桩管对准预先埋设在桩位上的预制桩尖（采用钢筋混凝土封口桩尖）或将桩管对准桩位中心，把桩尖活瓣合拢（采用活瓣桩尖），然后放松卷扬机钢丝绳，利用桩机和桩管自重，把桩尖竖直压入土中。

(2) 振动沉管。开动振动锤，同时放松滑轮，使桩管逐渐下沉，并开动加压卷扬机，通过加压钢丝绳对钢管加压。当桩管下沉至设计标高后，停止振动器的振动。

(3) 第一次灌注混凝土。利用吊斗向桩管内灌注混凝土。

(4) 边拔管、边振动、边灌注混凝土。当混凝土灌满后即可拔管。振动沉管灌注桩拔管时，应先启动振动打桩机，振动片刻后再开始拔管，并应在测得桩尖活瓣确已张开，或钢筋混凝土桩尖确已脱离，混凝土已从桩管中流出以后，方可继续拔出桩管。拔管速度应控制在 1.5m/min 以内，边拔边振，边向管内继续灌注混凝土，以满足灌注量的要求。每拔起 50cm，即停拔，再振动片刻，如此反复进行，直至将桩管全部拔出。在淤泥层中，为防止缩颈，宜上下反复沉拔。相邻的桩施工时，其间隔时间不得超过水泥的初凝时间，中途停顿时，应将桩管在停顿前先沉入土中。振动冲击沉管灌注桩拔管速度应在 1m/min 以内。桩锤上下冲击的次数不得少于 70 次 /min；但在淤泥层和淤泥质软土中，其拔管速度不得大于 0.8m/min。拔管时，应使桩锤连续冲击至桩管全部从土中拔出为止。

(5) 安放钢筋笼或插筋，成桩。当桩身配钢筋笼时，第一次混凝土应先灌至笼底标高，然后安放钢筋笼，再灌注混凝土至桩顶标高。

3）单打法、复打法、反插法施工时必须注意的事项

(1) 单打法施工应遵守以下规定。

①必须严格控制最后 30s 的电流、电压值，其值按设计要求或根据试桩和当地经验确定。

②桩管内灌满混凝土后，先振动 5 ～ 10s，再开始拔管，应边振边拔，每拔 0.5 ～ 1.0m 停拔、振动 5 ～ 10s，如此反复，直至桩管全部拔出。

③在一般土层内，拔管速度宜为 1.2 ～ 1.5m/min，用活瓣桩尖时宜慢，用预制桩尖时可适当加快，在软弱土层中，宜控制在 0.6 ～ 0.8m/min。

(2) 复打法施工应符合以下规定：混凝土的充盈系数不得小于 1.0；对于混凝土充盈系数小于 1.0 的桩，宜全长复打，对可能有断桩和缩颈桩的情况，应采用局部复打。成桩后的桩身混凝土顶面标高应不低于设计标高 500mm。全长复打桩的入土深度宜接近原桩长，局部复打应超过断桩或缩颈区 1m 以上。

全长复打桩施工时应遵守以下规定：第一次灌注混凝土应达到自然地面；应随拔管随清除粘在管壁上和散落在地面上的泥土；前后两次沉管的轴线应重合；复打施工必须在第一次灌注的混凝土初凝之前完成。

(3) 反插法施工应符合以下规定。

①桩管灌满混凝土之后，先振动再拔管，每次拔管高度 0.5 ～ 1.0m，反插深度 0.3 ～ 0.5m；在拔管过程中，应分段添加混凝土，保持管内混凝土面始终不低于地表面或高于地下水位 1.0 ～ 1.5m，拔管速度应小于 0.5m/min。

②在桩尖处的 1.5m 范围内，宜多次反插，以扩大桩的端部断面。

③穿过淤泥夹层时，应当放慢拔管速度，并减少拔管高度和反插深度。在流动性淤泥中不宜使用反插法。

2. 锤击沉管灌注桩

锤击沉管灌注桩是用锤击打桩机，将带活瓣的桩尖或钢筋混凝土预制桩靴的钢管锤击沉入土中，然后边浇筑混凝土边拔桩管成桩。该桩适于在黏性土、淤泥、淤泥质土、稍密的砂土及杂填土层中使用，但不能在密实的砂砾石、漂石层中使用。锤击沉管灌注桩成桩工艺如图 3.19 所示。

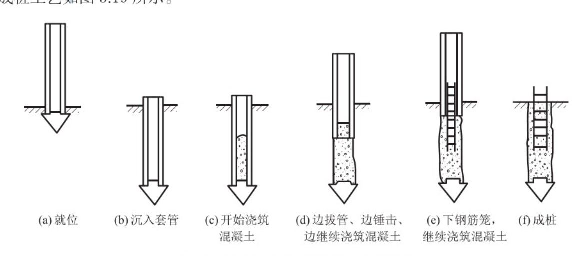


图 3.19　锤击沉管灌注桩成桩工艺原理图

施工中，若沉管过程中桩尖损坏，应及时拔出桩管，用土或砂填实后另安桩尖重新沉管。沉管至设计标高，检查管内有无泥浆或水进入，即可浇筑混凝土。混凝土应尽量

灌满桩管，然后开始拔管。拔管时应保持连续密锤低击不停，不宜拔管过高，对一般土可控制在不大于 1m/min，淤泥和淤泥质软土不大于 0.8m/min，在软弱土层和软硬土层交界处宜控制在 0.3 ~ 0.8m/min。拔管时还要经常探测混凝土落下的扩散情况，始终保持使管内混凝土量略高于地面。

为扩大桩径，提高承载力或补救缺陷时，也可采用复打法和反插法。

3. 施工常见问题及预防措施

沉管灌注桩、夯压桩施工常见问题及防治措施见表 3-5。

表 3-5 沉管灌注桩、夯压桩施工常见问题及防治措施

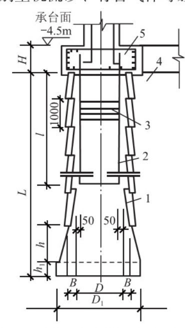
问　　题	主要原因	防治措施
缩颈（瓶颈）（浇筑混凝土后的桩身局部直径小于设计尺寸）	1. 拔管速度过快或管内混凝土量过少 2. 在地下水位以下或饱和淤泥或淤泥质土中沉桩管时，局部产生孔隙压力，把部分桩体挤成缩颈 3. 混凝土和易性差 4. 桩身间距过小，施工时受邻桩挤压	1. 施工时每次向桩管内尽量多灌注混凝土，一般使管内混凝土高于地面或地下水位 1.0 ~ 1.5m；桩拔管速度不得大于 0.8 ~ 1.0m/min 2. 在淤泥质土中采用复打法或反插法施工 3. 桩身混凝土应用和易性好的低流动性混凝土浇筑 4. 桩间距过小时，宜用跳打法施工 5. 桩缩颈，可采用反插法、复打法施工
断桩（桩身局部残缺夹有泥土，或桩身的某一部位混凝土坍塌，上部被土填充）	1. 混凝土终凝不久，受振动和外力扰动 2. 桩中心距过近，打邻桩时受挤压 3. 拔管时速度过快或骨料粒径太大	1. 混凝土终凝不久避免振动和扰动 2. 桩中心过近，可采用跳打或控制时间的方法，采用跳打法施工 3. 控制拔管速度，一般以 1.2 ~ 1.5m/min 为宜 4. 若已出现断桩，可采用复打法解决
桩靴进水进泥（套管活瓣处涌水或是泥砂进入桩管内）	地下水位高，含水量大的淤泥和粉砂土层	地下水量大时，桩管沉到地下水位时，用水泥砂浆灌入管内约 0.5m 做封底，并再灌注 1m 高混凝土，然后打下。 桩靴进水进泥后，可将桩管拔出，修复改正桩尖缝隙后，用砂回填桩孔重打
吊脚桩（桩底部的混凝土隔空，或混凝土中混进泥砂而形成松软层的桩）	预制桩靴质量较差，沉管时桩靴被挤入套管内阻塞混凝土下落，或活瓣桩靴质量较差，沉管时被损坏	1. 严格检查桩靴的质量和强度，检查桩靴与桩管的密封情况，防止桩靴在施工时压入桩管 2. 若已出现混凝土拒落，可在拒落部位采用反插法处理 3. 桩靴损坏、不密合，可将桩管拔出，将桩靴活瓣修复，孔回填，重新沉入

3.3.4 人工挖孔灌注桩

1. 人工挖孔灌注桩的特点和适用范围

人工挖孔灌注桩单桩承载力高，受力性能好，桩质量可靠。施工设备简单，无振动、无噪声、无环境污染，可多桩同时进行，施工速度快，节省设备费用，降低工程造价；

但桩成孔工艺存在劳动强度较大，单桩施工速度较慢，安全性较差等问题。因此，施工中应特别重视流砂、有害气体等影响，要严格按操作规程施工，制定可靠的安全措施。



1—护壁；2—主筋；3—箍筋；4—地梁；5—承台

图 3.20　人工挖孔桩构造图

挖孔及挖孔扩底灌注桩桩直径范围为 0.8 ～ 5.0m，深度一般 20m 左右，最深可达 40m，适用于无地下水或地下水较少的黏土、粉质黏土，含少量的砂、砂卵石、姜结石的黏土层采用。图 3.20 为人工挖孔桩构造图。

2. 人工挖孔桩施工

人工挖孔桩的施工顺序：场地平整→防、排水措施→放线、定桩位、复核、验收→人工挖孔、绑扎护壁钢筋、支护模板、浇捣护壁混凝土（按节循环作业，直至设计深度）→桩底扩孔→全面终孔验收→清理桩底虚土、沉渣及积水→放置钢筋笼→浇筑桩身混凝土→检测和验收。

(1) 挖土。挖土是人工挖孔的一道主要工序，应事先编制好防治地下水方案，避免产生渗水、冒水、塌孔、挤偏桩位等不良后果。在挖土过程中遇地下水时：在地下水不大时，可采用桩孔内降水法，用潜水泵将水抽出孔外；若出现流砂现象，首先考虑采用缩短护壁分节和抢挖、抢浇筑护壁混凝土的办法，若此方法不行，就必须沿孔壁打板桩或用高压泵在孔壁冒水处灌注水玻璃水泥砂浆；当地下水较丰富时，采用孔外布井点降水法，即在周围布置管井，在管井内不断抽水，使地下水位降至桩孔底以下 1.0 ～ 2.0m。

(2) 护壁措施。为防止塌孔和保证操作安全，直径 1.2m 以上桩孔多设混凝土支护，每节高 0.9 ～ 1.0m，厚 8 ～ 15cm，或加配适量直径 6 ～ 9mm 光圆钢筋，混凝土用 C20 或 C25；直径 1.2m 以下桩孔，井口 1/4 砖或 1/2 砖护圈高 1.2m，下部遇有不良土体用半砖护砌。孔口第一节护壁应高出地面 10 ～ 20cm，以防止泥水、机具、杂物等掉进孔内。

(3) 放置钢筋笼。桩孔挖好并经有关人员验收合格后，即可根据设计的要求放置钢筋笼。钢筋笼在地面上绑扎好，通过吊装就位，并应满足钢筋焊接、绑扎的施工验收规范要求。钢筋笼放置前，要清除油污、泥土等杂物，防止将杂物带入孔内。

(4) 浇筑桩身混凝土。钢筋笼吊入验收合格后应立即浇筑桩身混凝土。当桩孔内渗水量不大时，抽除孔内积水后，用串筒法浇筑混凝土。如果桩孔内渗水量过大，积水过多不便排干，则应采用导管法水下浇筑混凝土。

3. 安全措施

人工挖孔桩在开挖过程中，还须专门制定安全措施：施工人员进入孔内必须戴安全帽；孔内有人时，孔上必须有人监督防护；护壁要高出地面 150 ～ 200mm，挖出的土方不得堆在孔四周 1.0m 范围内，以防滚入孔内，并且机动车辆的通行不得对井壁的

安全造成影响；孔周围要设置0.8m高的安全防护栏杆，每孔要设置安全绳及安全软梯；使用的电葫芦、吊笼等应安全可靠并配有自动卡紧保险装置，不得使用麻绳和尼龙绳，电葫芦宜用按钮式开关，使用前必须检验其安全起吊能力；孔下照明要用安全电压；使用潜水泵，必须有防漏电装置；每日开工前必须检测井下的有毒有害气体，并应有足够的安全防护措施；桩孔开挖深度超过10m时，应设置鼓风机专门向井下输送洁净空气，风量不少于25L/s等。

3.4 地下连续墙工程

3.4.1 概述

地下连续墙是通过专用的挖（冲）槽设备，沿着地下建筑物或构筑物的周边，在泥浆护壁的情况下，开挖出或冲钻出具有一定宽度与深度的沟槽，在槽内放置具有一定刚度的钢筋笼，用导管浇灌水下混凝土，筑成一段钢筋混凝土墙段，然后各墙段以特殊的接头方法相互连接，形成一条连续的钢筋混凝土墙体。

地下连续墙具有刚度大、整体性好、施工时无振动、噪声低等优点。但地下连续墙施工，需要较多的机具设备，一次性投资较高，施工工艺较为复杂，技术要求高，质量要求严，故要有适用于不同地质条件的泥浆护壁的管理方法以及发生故障时所需采取的各项措施。

3.4.2 地下连续墙施工

地下连续墙施工工艺过程如图3.21所示。

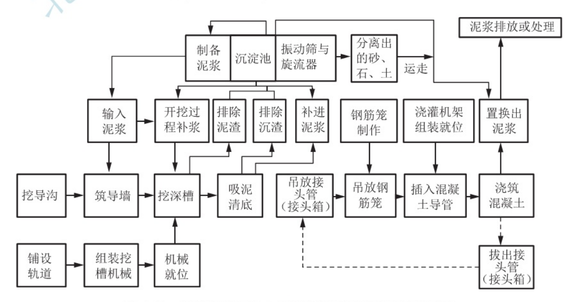


图3.21 现浇钢筋混凝土地下连续墙施工工艺过程框图

1. 导墙施工

深槽开挖前，须沿着地下连续墙设计的纵轴线位置建造导墙。导墙的作用是挖槽导向、防止槽段上口塌方、存蓄泥浆和作为测量的基准。导墙多为现浇钢筋混凝土结构，如图 3.22 所示。

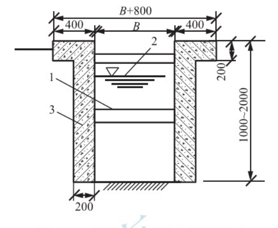


图 3.22　现浇钢筋混凝土导墙截面（单位：mm）

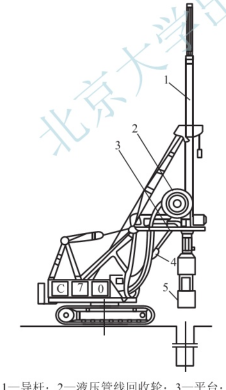
导墙深度一般为 1 ～ 2m，厚度一般为 0.15 ～ 0.25m，顶面高出施工地面，防止地面水流入槽段。墙背侧用黏性土回填并夯实，防止漏浆。为防止导墙产生位移，导墙拆模后，应在导墙内侧每隔 2m 设一木支撑，且在达到规定强度之前禁止重型机械在旁边行驶。

2. 挖槽与清槽

1) 挖槽

地下连续墙的槽段开挖，是保证成槽施工的关键，这不仅需要合理地选择成槽机械和控制泥浆指标，而且还要确定合理的成槽顺序。

目前我国常用的挖槽设备为导杆抓斗和多头钻成槽机。图 3.23 为导杆抓斗，图 3.24 为多头钻成槽机成槽的施工工艺。



1—导杆；2—液压管线回收轮；3—平台；4—千斤顶；5—抓斗

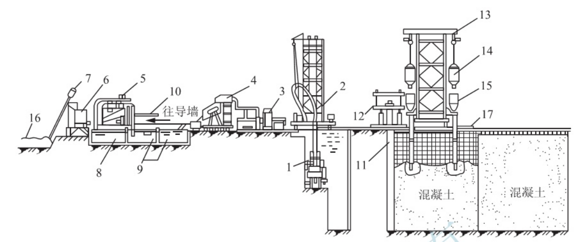
图 3.23　液压导杆抓斗示意图

挖槽是在泥浆中进行，泥浆的制备及施工与泥浆护壁灌注桩施工基本相同。泥浆一般采用膨润土，为加强泥浆的效能，可以加入增黏剂、加重剂、分散剂等掺合物。

成槽时间约占工期的一半，挖槽精度又决定了墙体制作精度，所以槽段开挖是决定施工进度和质量的关键工序。

挖槽前，预先将地下墙体划分成许多段，每一段称为地下连续墙的一个槽段（又称为一个单元），一个槽段是一次混凝土灌注单位。

槽段的长度，理论上应取得长一些，这样可减少墙段的接头数量，不但可提高地下连续墙的防水性和整体性，而且也减少了循环作业的次数，提高施工效率；但实际上槽段的长度应根据设计要求、土层性质、地下水情况、钢筋笼的轻重大小、设备起吊能力、混凝土供应能力等条件确定，一般槽段长度为 3 ～ 7m。



1—多头钻；2—机架；3—吸泥泵；4—振动筛；5—水力旋流器；6—泥浆搅拌机；7—螺旋输送机；
8—泥浆；9 —泥浆沉淀池；10—补浆用输送管；11—接头管；12—接头管顶升架；
13—混凝土浇筑机架；14—料斗；15—混凝土导管上面的料斗；16—膨润土；17—钢轨

图 3.24　多头钻成槽机成槽的施工工艺图

划分单元槽段时应注意合理设置槽段间的接头位置，一般情况下应避免将接头设在转角处、地下连续墙与内部结构的连接处，以保证地下连续墙有较好的整体性。

作为深基坑的支护结构或地下构筑物外墙的地下连续墙，其平面形状一般多为纵向连续一字形。但为了增加地下连续墙的抗挠曲刚度，也可采用工字形、L 形、T 形、Z 形及 U 形。墙厚根据结构受力计算确定：现浇式一般为 600 ～ 1000mm，最大为 1200mm；预制式受施工条件限制，厚度一般不大于 500mm。

挖槽过程中应保持槽内始终充满泥浆，根据挖槽方式的不同确定不同的泥浆使用方式。使用抓斗挖槽时，应采用泥浆静止方式，随着挖槽深度的增大，不断向槽内补充新鲜泥浆，使槽壁保持稳定。使用钻头或切削刀具挖槽时，应采用泥浆循环方式，用泵把泥浆通过管道压送到槽底，土渣随泥浆上浮至槽顶面排出称为正循环；泥浆自然流入槽内，土渣被泵管抽吸到地面上称为反循环，反循环的排渣效率高，宜用于容积大的槽段开挖。

非承重墙的终槽深度必须保证设计深度，同一槽段内，槽底深度必须一致且保持平整。承重墙的槽段深度应根据设计入岩深度要求，参照地质剖面图及槽底岩屑样品等综合确定，同一槽段开挖深度宜一致。

槽段开挖完毕，应检查槽位、槽深、槽宽及槽壁垂直度，合格后应尽快清底换浆、安装钢筋笼。

2）泥浆制备与管理

泥浆在成槽过程中起液体支撑，保护开挖槽面的稳定，使开挖出的泥渣悬浮不沉淀，在掘削过程中起携渣的作用；同时，泥浆在槽壁面上形成一层泥皮，可保护槽壁面主颗粒稳定，防止地下水流入或浆液漏掉，还可冷却切削机具，对刀具切土进行润滑等作用，其中最重要的是固壁作用。

泥浆是由膨润土、羧甲基纤维素（又称化学糨糊，简称 CMC）、纯碱、铁铬木质磺酸钙（简称 FCL）等原料按一定的比例配合，并加水搅拌而成的悬浮液。

泥浆制备时，膨润土泥浆应以搅拌器搅拌均匀，拌好后在贮浆池内一般静置24h以上，最少不少于3h，以便膨润土颗粒充分水化、膨胀，确保泥浆质量。一般新配泥浆相对密度控制在1.04～1.05，循环过程中的泥浆密度控制在1.25～1.30。遇松散地层，泥浆密度可适当加大。浇筑混凝土前，槽内泥浆密度控制在1.15～1.20。在成槽过程中，要不断向槽内补充新泥浆，使其充满整个槽段。泥浆面应保持高出地下水位0.5m以上，也不应低于导墙顶面0.3m。在同一槽段钻进，若遇不同地质条件和土层，要注意调整泥浆的性能和配合比，以适应不同土质情况，防止塌方。在施工中，要加强泥浆的管理，经常测试泥浆性能和调整泥浆配合比，保证顺利地施工。

3）清槽

挖槽达到设计深度后要，必须对槽底泥浆进行置换和清除。清渣的方法有砂石吸力泵排泥法、潜水泥浆泵排泥法、抓斗直接排泥法等。清槽后尽快下放接头管和钢筋笼，并立即浇筑混凝土，以防槽段塌方。

3. 接头施工

地下连续墙每槽段之间依靠接头连接，接头通常要满足设计受力和抗渗要求，同时又要施工简单，便于操作，最常用的是接头管方式。

在单元槽段成孔后，于一端先吊放接头钢管入槽段内，再吊入钢筋笼，浇筑混凝土，在管外混凝土能够自立不塌时，即可用拔管机将锁口管拔出，形成半圆接头。拔管的时间必须选择适当，应根据混凝土的坍落度损失的速度，黏结力增长情况，拔管设备的能力等，通过现场试验确定。一般按第一斗混凝土注入4～5h后开始转动锁口管，浇筑完毕5～6h后进行试拔，当未出现其他情况时即可全部拔出，然后进行下一单元槽段的施工。地下连续墙利用接头管连接施工如图3.25所示。

如果地下连续墙用做主体结构侧墙或结构的地下墙，则除要求接头抗渗外，还要求接头有抗剪能力，此时就需要在接头处增加钢板使相邻槽段有力地连成整体。

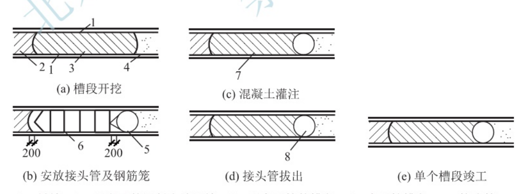


图3.25　接头管施工程序图

4. 钢筋笼制作与吊装

对长度小于15m的钢筋笼，一般采用整体制作，用履带式吊车一次整体吊放；对长度超过15m的钢筋笼，常采取分两段制作吊放，接头尽量布置在应力小的地方，先吊放

一节，在槽上用帮条焊焊接（或搭接焊接）。插入槽段时要使吊头中心对准槽段中心，缓慢垂直落入槽内，防止碰撞槽壁，造成塌方，加大清槽的工作量。为保证槽壁不塌，应在清槽完后 3 ～ 4h 以内下完钢筋笼，并立即开始浇筑混凝土。

5. 混凝土施工

(1) 清底工作。槽段开挖到设计标高后，在插放接头管和钢筋笼之前，应及时清除槽底淤泥和沉渣，否则钢筋笼插不到设计位置，地下连续墙的承载力降低，我们将清除沉渣的工作称为清底。

清底可采用沉淀法或置换法进行。沉淀法是在土渣基本都沉淀到槽底之后再进行清底；置换法是在挖槽结束之后，对槽底进行认真清理，然后在土渣还没有沉淀之前就用新泥浆把槽内的泥浆置换出来。工程上一般常用置换法。

清除沉渣的方法常用的有砂石吸力泵排泥法、压缩空气升液排泥法、带搅动翼的潜水泥浆泵排泥法、抓斗直接排泥法。

(2) 混凝土浇筑。地下连续墙的混凝土是在护壁泥浆下浇筑，需按水下混凝土的方法配制和浇筑。混凝土强度等级一般不应低于 C20；用导管法浇筑的水下混凝土应具有良好的和易性和流动性，坍落度宜为 180 ～ 220mm，扩散度宜为 340 ～ 380mm。

混凝土的配合比应通过试验确定，并应满足设计要求和抗压强度等级、抗渗性能及弹性模量等指标。水泥一般选用普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥，混凝土配比中水泥用量一般大于 370kg/m^3，并可根据需要掺入外加剂；粗骨料最大粒径不应大于 25mm，宜选用中砂或粗砂，且拌合物中的含砂率不小于 45%；水灰比不应大于 0.6。

地下连续墙混凝土是用导管在泥浆中浇筑的。由于导管内混凝土密度大于导管外的泥浆密度，利用两者的压力差使混凝土从导管内流出，在管口附近一定范围内上升，替换掉原来泥浆的空间。

导管的数量与槽段长度有关，槽段长度小于 4m 时，可使用一根导管；大于 4m 时，应使用两根或两根以上导管。导管内径约为粗骨料粒径的 8 倍，不得小于粗骨料粒径的 4 倍。导管间距根据导管直径决定：使用 150mm 导管时，间距为 2m；使用 200mm 导管时，间距为 3m，一般可取 (8 ～ 10)d(d 为导管的直径）。导管距槽段两端不宜大于 1.5m。

在浇筑过程中，混凝土的上升速度不得小于 2m/h；且随着混凝土的上升，要适时提升和拆卸导管，导管下口插入混凝土深度应控制在 2 ～ 4m，不宜过深或过浅。插入深度大，混凝土挤推的影响范围大，深部的混凝土密实、强度高，但容易使下部沉积过多的粗骨料，而面层聚积较多的砂浆。导管插入太浅，则混凝土是摊铺式推移，泥浆容易混入混凝土，影响混凝土的强度。因此导管插入混凝土深度不宜大于 6m，并不得小于 1m，严禁把导管底端提出混凝土面。浇筑过程中，应有专人每 30min 测量一次导管埋深及管外混凝土面高度，每 2h 测量一次导管内混凝土面高度。导管不能做横向运动，否则会使沉渣或泥浆混入混凝土内。混凝土要连续灌筑，不能长时间中断，一般可允许中断 5 ～ 10min，最长只允许中断 20 ～ 30min。为保持混凝土的均匀性，混凝土搅拌好之后，应在 1.5h 内灌筑完毕。

在一个槽段内同时使用两根导管浇筑时，其间距不应大于 3m，导管距槽段端头不宜

大于 1.5m，混凝土面应均匀上升，各导管处的混凝土表面的高差不宜大于 0.3m，在浇筑完成后的地下连续墙墙顶存在一层浮浆层，因此混凝土顶面应比设计标高超浇 0.5m，凿去该层浮浆层后，地下连续墙墙顶才能与主体结构或支撑连成整体。

3.5 其他浅基础工程

1. 浅基础按受力的分类

一般将设置在天然地基上，埋置深度小于 5m 且用常规施工的基础称为天然地基上的浅基础。

浅基础按受力分为刚性基础和柔性基础。

(1) 刚性基础。用抗压性能较好，而抗拉、抗剪性能较差的材料建造的基础，如素混凝土、砖、毛石等，其基础高度由刚性角控制。

(2) 柔性基础。用钢筋混凝土修建的基础。柔性基础抗弯和抗剪能力相对刚性基础得到较大的提高，不受刚性角的限制，基础剖面可做成扁平状，用较小的基础高度就可把上部荷载传到较大的基础地面上，更好地适应地基承载力的要求。

2. 浅基础按构造的分类

(1) 刚性扩大基础。为满足地基强度要求，将基础平面尺寸扩大形成扩大基础。

每边扩大最大尺寸受材料刚性角限制，一般为 0.2 ～ 0.5m，取决于土质、基础厚度、埋深和施工方法等。基础较厚时，可在纵横剖面做成台阶形，以减少基础自重，节省材料。

(2) 单独基础。单独基础或称独立基础，整个或局部结构物下的无筋或配筋的单个基础，柱式桥墩、烟囱、水塔、高炉及其设备基础常用。图 3.26 为钢筋混凝土柱下独立基础，图 3.27 为砌体柱下独立基础。

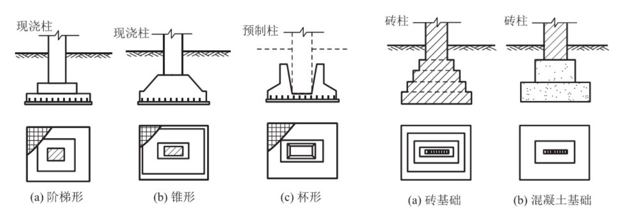


图 3.26　钢筋混凝土柱下独立基础　　图 3.27　砌体柱下独立基础

(3) 联合基础。指基础平面尺寸扩大，相邻的独立基础在平面上相接甚至重叠，形成联合基础。

(4) 条形基础。墙下条形基础在挡土墙、涵洞常用，分为刚性条形基础和钢筋混凝土条形基础两种，横剖面呈矩形或台阶形。图 3.28 所示为墙下刚性条形基础，图 3.29 所示为墙下钢筋混凝土条形基础。

柱下条形基础可增强桥柱下基础的承载能力和整体性，方便施工，可将同一排的柱基础联合起来。

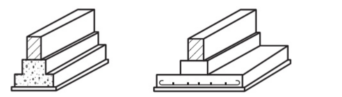


图 3.28 墙下刚性条形基础

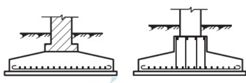


图 3.29 墙下钢筋混凝土条形基础

(5) 十字交叉基础。荷载很大，地基土很软，或纵横剖面上的荷载不均或土质不均，柱下条基不能满足要求，可采用双向的柱下钢混条基形成的十字交叉条基（交叉梁基础），对不均匀沉降具有良好的调节能力。如图 3.30 所示为柱下十字交叉基础。

(6) 筏板基础。采用单独或条形基础不能满足地基承载力或沉降的要求时，可采用筏板式钢筋混凝土基础。扩大了基底面积，增强了基础的整体化，并避免结构物局部发生不均匀。如图 3.31 所示为平板式筏板基础。

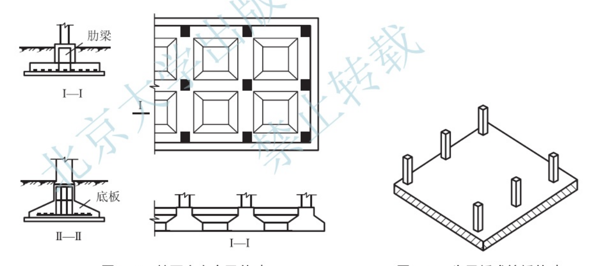


图 3.30 柱下十字交叉基础

图 3.31 为平板式筏板基础

筏板基础的施工顺序是：基底土质验槽→施工垫层→在垫层上弹线抄平→筏板下网钢筋→梁钢筋→柱及剪力墙插筋→筏板上网钢筋→筏板混凝土（板式）、筏板及上部梁混凝土（梁式）。

(7) 箱形基础。由钢筋混凝土顶板、底板及纵横隔墙组成，空间刚度远大于筏板基础，适用于地基软弱土层厚，建筑物对不均匀沉降较敏感时，或荷载较大而基础建筑面积不太大的高层建筑（图 3.32）。箱形基础的抗震性能较好，且基础的中空部分可用作地下室，但是其钢筋、水泥用量大，造价高，施工技术复杂；深基坑开挖时，要考虑坑壁支护和止水（或人工降水）及对邻近建筑物的影响等。

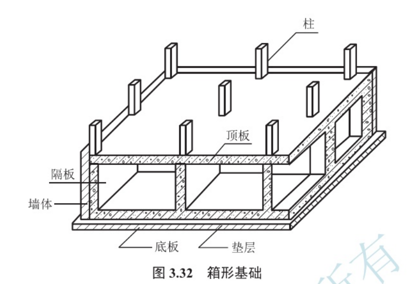


图 3.32 箱形基础

(8) 深井基础。是一个井筒状的结构物，常用混凝土或钢筋混凝土在施工地点预制好，然后在井内不断除土，井体借自重克服外壁与土的摩阻力而不断下沉至设计标高，并经过封底、填心以后，使其成为桥梁墩台或其他结构的基础。

本章小结

通过本章的学习，桩按施工方法分成预制桩和灌注桩，以及桩按受力特点分为端承桩和摩擦桩。其中，需重点掌握预制桩和灌注桩的施工方法、施工流程以及施工质量控制方法。另外，了解其他几种基础的基本构造和适用范围。

习 题

简答题

1. 桩基础的适用范围是什么？
2. 桩基础的分类是什么？
3. 打桩有哪些质量要求？
4. 泥浆护壁成孔灌注桩施工的工艺流程是什么？
5. 简述泥浆护壁成孔灌注桩施工过程中常见的问题及其处理方式。
6. 套管成孔灌注桩施工过程中常见的问题及其原因是什么？
7. 简述条形基础及箱形基础的原理及适用范围。

第4章 砌体工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
砌体材料及砌体砌筑	重点掌握	砌体材料的分类，各自的用途，砌筑时的方法，注意事项和质量要求
脚手架	掌握	脚手架的分类、搭接及安全措施，各自的适用范围和质量检测
垂直运输机械	了解	垂直运输机械的分类，各自的适用条件

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
砌块的砌筑	掌握	砌体结构施工流程，构造柱的构造措施
脚手架及垂直运输工具	运用	脚手架和塔吊专项施工方案（见附录1和附录2）

案例导航

下图是一些以烧结砖为材料的建筑物。砖在我国有很长一段历史，可追溯到“秦砖汉瓦”。新时代的建筑方法和建筑材料日新月异，但砖砌体仍未完全退出人们的视线。




本章问题讨论

1. 什么情况下用砖砌块？其优缺点各是什么？
2. 墙体砌筑未来的发展方向是什么？

4.1 砌体材料

4.1.1 块材

砌体工程的块材包括砖、砌块、石三大类。

1. 砖材

砌体工程常用的砖按生产方法分有烧结砖和蒸压砖。按形态分有实心砖、多孔砖和空心砖。

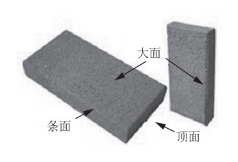
1) 烧结砖（图 4.1）

烧结砖有烧结普通砖（实心砖）、烧结多孔砖和空心砖。烧结砖按主要原料分为页岩砖、煤矸石砖和粉煤灰砖等。黏土烧结普通砖因不符合节能、环保和保护农田的要求，正被限用或禁用。

(1) 烧结普通砖 [图 4.1(a)]。烧结普通砖的规格为 240mm×115mm×53mm，即 4 块砖长加 4 个灰缝，即 8 块砖宽加 8 个灰缝，即 16 块砖厚加 16 个灰缝（简称 4 顺，8 丁，16 线）均为 1m，习惯称为标准砖。烧结普通砖根据抗压强度分为 MU30、MU25、MU20、MU15、MU10 五个强度等级。MU 代表砂浆强度等级，数字代表强度值，单位为 N/mm^2。

(2) 烧结多孔砖 [图 4.1(b)]。常用的规格有 M 型 (190mm×190mm×90mm)、P 型 (240mm×115mm×90mm) 和其他规格。烧结多孔砖根据抗压强度分为 MU30、MU25、MU20、MU15、MU10 五个强度等级。

(3) 烧结空心砖 [图 4.1(c)]。常用规格的长度有 240mm、290mm，宽度有 140mm、180mm、190mm，高度有 90mm、115mm，强度有 MU5、MU3、MU2，因而一般用于非承重墙体。



(a) 黏土烧结实心砖

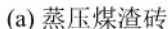

(b) 烧结多孔砖


(c) 烧结空心砖

图 4.1 常见的烧结砖

2) 蒸压砖（图 4.2）

蒸压砖有蒸压煤渣砖和蒸压灰砂空心砖。

(a) 蒸压煤渣砖



(b) 蒸压灰砂空心砖

图 4.2 蒸压砖

(1) 蒸压煤渣砖 [图 4.2(a)]。以煤渣为主要原料，掺入适量石灰、石膏，经混合、压制成型、蒸养或蒸压而成的实心砖。尺寸：长度 240mm，宽度 115mm，高度 53mm，根据抗压强度分为 MU20、MU15、MU10、MU7.5 四个强度等级。

(2) 蒸压灰砂空心砖 [图 4.2(b)]。以石灰、砂为主要原料，经坯料制备、压制成型、蒸压养护而制成的空心砖。尺寸：长度 240mm，宽度 115mm，高度有 53mm、90mm、115mm、175mm，根据抗压强度分为 MU25、MU20、MU15、MU10、MU7.5 五个强度等级。

2. 砌块材料

砌块（图 4.3）一般是指普通混凝土小型空心砖块、轻骨料混凝土小型空心砌块、蒸压加气混凝土砌块、粉煤灰硅酸盐砌块。这些砌块用于墙体能保证建筑物具有足够的强度和刚度；能满足建筑物的隔声、隔热、保温要求；建筑物的耐久性和技术经济效果也较好。

砌块的品种较多，通常把高度为 180 ～ 350mm 的砌块称为小型砌块，360 ～ 900mm 的砌块称为中型砌块，900mm 以上的砌块称为大型砌块。

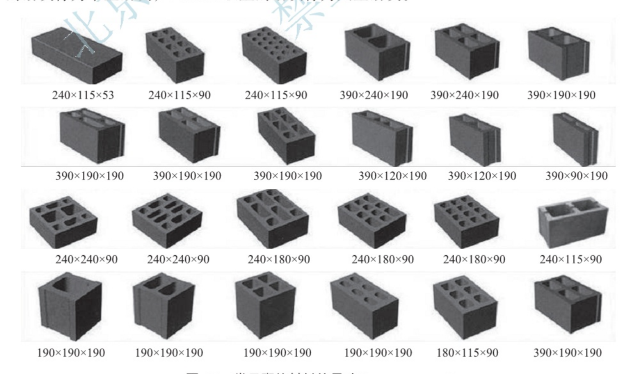


图 4.3 常见砌体材料的尺寸 (mm×mm×mm)

1）普通混凝土小型空心砖块

普通混凝土小型空心砌块包括普通砌块、承重和非承重砌块、装饰砌块、保湿砌块、吸声砌块等类别。强度等级 MU7.5 以上的为承重砌块，MU5.0 以下的为非承重砌块。其主规格尺寸为 190mm×190mm×390mm。

2）轻骨料混凝土小型空心砌块

轻骨料混凝土小砌块具有轻质高强、保温隔热、抗震性能好等特点，在各种建筑的墙体中得到广泛应用。

3）蒸压加气混凝土砌块

蒸压加气混凝土砌块具有质轻、保温、防火、可锯、可刨、加工方便等优点。一般作为内外墙的建筑砌块，也常用于框架填充墙的墙体和刚性屋面的保温层。蒸压加气混凝土砌块的规格尺寸：长度 600mm；宽度为 100mm、125mm、150mm、200mm、250mm、300mm；高度为 200mm、250mm、300mm。

4）粉煤灰砌块

粉煤灰硅酸盐砌块，按密度情况可分为密实砌块和空心砌块两种，密实砌块一般用于低层或多层房屋建筑的墙体和基础。粉煤灰硅酸盐砌块不宜用于具有酸性介质侵蚀的建筑部位，不宜用于经常处于高温影响下的建筑物。其主规格尺寸为 880mm×380mm×240mm 和 880mm×430mm×240mm。

3. 石材

石材按其加工后的外形规则程度，可分为毛石和料石（图 4.4 ～图 4.6）。

毛石分为乱毛石和平毛石。乱毛石是指形状不规则的石块，平毛石是指形状不规则但有两个平面大致是平行的石块。毛石的中部厚度不宜小于 150mm。

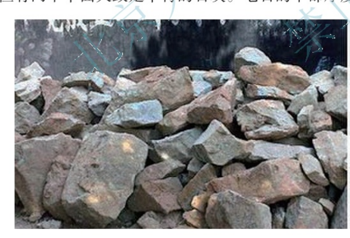


图 4.4　毛石



图 4.5　毛石挡土墙

料石（图 4.6）按其加工面的平整程度分为细料石、半细料石、粗料石和毛料石四种。料石的宽度、厚度均不宜小于 200mm，长度不宜大于厚度的 4 倍。

石砌体所用的石材应质地坚实，无风化剥落和裂纹。用于清水墙、柱表面的石材，应色泽均匀。石砌体常用于基础、墙体、挡土墙及桥涵工程。



图 4.6 料石

4.1.2 砂浆

砌筑砂浆是由水泥、砂、掺加料或外加剂和水按一定比例配制而成的。砂浆在砌体内的作用主要是填充砖之间的空隙，并将其黏结成整体。

1. 砂浆的分类

建筑砂浆通常使用的有水泥砂浆、石灰砂浆和混合砂浆三种。比较砂浆的性能主要是强度、和易性、防潮等几个方面。

(1) 水泥砂浆。无塑性掺合料的纯水泥砂浆具有较高的强度和耐久性，但和易性差，多用于强度高和潮湿环境的砌体中。

(2) 混合砂浆。有塑性掺合料的水泥砂浆，如水泥白灰砂浆，具有一定的强度和耐久性，且和易性和保水性好，多用于一般墙体中。

(3) 非水泥砂浆。不含有水泥的砂浆，如白灰砂浆、黏土砂浆等，强度低且耐久性差，可用于简易或临时建筑的砌体中。

2. 砂浆的强度等级

砂浆的强度等级是以边长为70.7mm的立方体试块，在(20±5)℃及正常湿度条件下，置于室内不通风处养护龄期为28d抗压试验测得的抗压强度确定的。砂浆强度等级分为M20、M15、M10、M7.5、M5.0、M2.5六级。M代表砂浆强度等级，数字代表强度值，单位为N/mm^2。

3. 原材料要求

砂浆所用水泥的品种、等级应符合设计要求，并且检验合格后方可使用。不同品种的水泥，不得混合使用。砌筑砂浆用砂宜用中砂，不得含有有害杂物，其含泥量一般不应超过5%，对强度等级小于M5的水泥混合砂浆，不应超过10%。生石灰熟化成石灰膏时，应用网过滤，熟化时间不得少于7d，不得采用脱水硬化的石灰膏，消石粉不得直接使用于砌筑砂浆中。

4. 砂浆的拌制和使用

1）砂浆的原材料称量要求

水泥、有机塑化剂和冬期施工中掺用的氯盐等配料准确度应控制在 ±2% 范围内；砂、水及石灰膏、电石膏、黏土膏、粉煤灰、磨细生石灰粉等组分的配料精确度应控制在 ±5% 范围内。注意应考虑砂的含水率对配料的影响。

2）砂浆的搅拌及使用

砂浆试配时应采用机械搅拌（图 4.7）。搅拌时间一般如下：水泥砂浆和水泥混合砂浆，不得小于 2min；水泥粉煤灰砂浆和掺用外加剂的砂浆不得小于 3min；掺用有机塑化剂的砂浆，应为 3 ～ 5min。



(a) JQ250砂浆搅拌机　　(b) HJ3501砂浆搅拌机

图 4.7　砂浆搅拌机

砂浆应随拌随用。水泥砂浆必须在拌成后 3h，水泥混合砂浆必须在拌成后 4h 内使用完毕。如施工期间最高气温超过 30℃时，必须在拌成后 2h 和 3h 内使用完毕。尤其不得使用过夜砂浆。对掺用缓凝剂的砂浆，其使用时间根据具体情况延长。

4.2 脚手架及垂直运输设施

4.2.1 脚手架

1. 脚手架的分类

脚手架是为了便于施工活动和安全操作的一种临时设施。实践证明，砖砌体试验中，在距地面 0.6m 时生产效率最高，低于或高于 0.6m 时生产效率下降。当砌筑到一定高度后，不搭设脚手架就无法进行施工操作。为此，考虑工作效率和施工组织等因素，每次脚手架的搭设高度以 1.2m 为宜，称为“一步架高”，又叫砌体的可砌高度。脚手架种类很多，可按以下几种方式分类。

（1）按材料分。可分为木脚手架、竹脚手架、金属脚手架等。

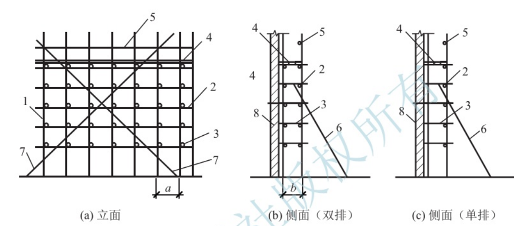
（2）按搭设位置分。可分为外脚手架、里脚手架等。

（3）按构造形式分。可分为多立杆式脚手架（分单排、双排和满堂脚手架）、碗扣式钢管脚手架、挑式脚手架、框式脚手架、桥式脚手架、悬吊式脚手架、塔式脚手架、挂式脚手架、工具式里脚手架等。

2. 常用脚手架

1）扣件式钢管脚手架

扣件式钢管脚手架沿建筑物外围从地面搭起，可搭设成双排式，也可搭设成单排式。既可用于外墙砌筑，又可用于外墙装饰施工，也可作为内部满堂脚手架，是常用的一种脚手架。其特点是通用性强，搭设高度大，装卸方便，坚固耐用。图 4.8 是扣件式外脚手架示意图。



(a) 立面　　(b) 侧面（双排）　　(c) 侧面（单排）

1—立杆；2—大横杆；3—小横杆；4—脚手板；5—栏杆；6—抛撑；7—斜撑（剪刀撑）；8—墙体

图 4.8　扣件式外脚手架示意图

扣件式钢管脚手架由钢管、扣件和底座组成。

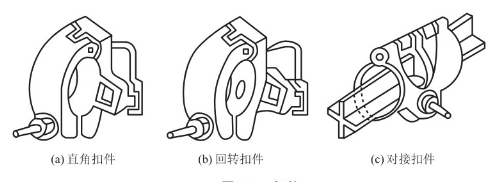
钢管杆件包括立杆、大横杆、小横杆、栏杆、剪刀撑、斜撑和抛撑（在脚手架立面之外设置的斜撑），贴地面设置的横杆也称“扫地杆”。钢管材料应采用外径 48mm、壁厚 3.5mm 的焊接钢管。

扣件为钢管之间的扣接连接件，其基本形式有三种，如图 4.9 所示。

(1) 直角扣件。用于连接扣紧两根互相垂直交叉的钢管。

(2) 回转扣件。用于连接扣紧两根平行或呈任意角度相交的钢管。

(3) 对接扣件。用于竖向钢管的对接接长。



(a) 直角扣件　　(b) 回转扣件　　(c) 对接扣件

图 4.9　扣件

底座是设于立杆底部的垫座，用于承受脚手架立柱传递下来的荷载。可用厚 8mm、边长 150mm 的钢板作底板，与外径 60mm、壁厚 3.5mm、长度 150mm 的钢管套筒焊接而成，如图 4.10 所示。

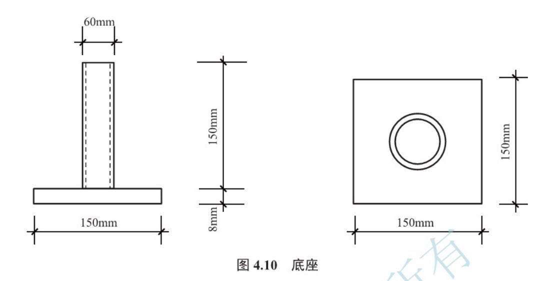
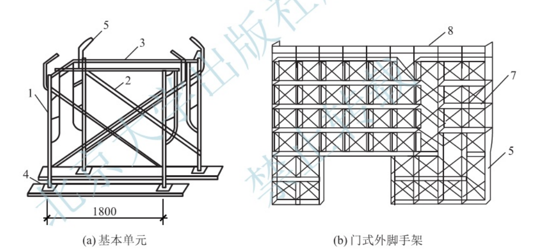


图 4.10　底座

2）门形组合式脚手架

门形组合式脚手架也称为框式脚手架，是目前应用最为普遍的脚手架之一。它不仅可作为外脚手架，且可作为内脚手架或满堂脚手架。它具有几何尺寸标准化、结构合理、工作安全可靠、施工方便、经济实用等特点（图 4.11）。



1—门式框架；2—剪力撑；3—水平梁架；4—螺旋基脚；5—梯子；6—栏杆；7—脚手板；8—栏杆

图 4.11　门式脚手架示意图

门式脚手架是一种由工厂生产、现场搭设的脚手架，一般只要根据产品目录所列的使用荷载和搭设规定进行施工，不必再进行验算。如果实际使用情况与规定有出入时，应采取相应的加固措施或进行验算。

常用的门式钢管脚手架搭设高度限制在 45m 以内，采取一定措施后可达到 80m 左右。其施工荷载一般为均布荷载 1.8kN/m^2，或作用于脚手架板跨中的集中荷载 2kN。门式脚手架的地基应有足够的承载力。地基必须夯实找平，并严格控制第一步门式框架顶面的标高（竖向误差不大于 5mm），并应逐片校正门式框架的垂直度和水平度，以确保整体刚度，门式框架之间必须设置剪刀撑和水平梁架（或脚手板）。

3）悬挑脚手架

悬挑脚手架（图 4.12）简称挑架，施工中遇到以下情况时采用：如高层建筑主体结

构四周有裙房，脚手架不能直接支撑在地面上；超高层建筑施工，脚手架搭设高度超过其容许高度，需要将其分成几个高度段来搭设。



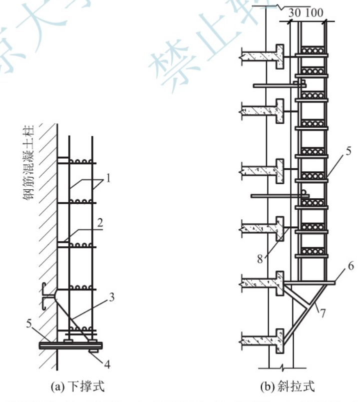
图 4.12　型钢悬挑脚手架的搭设

挑架是将脚手架支承在悬挑的支承结构上，支承结构则固定在已建房屋结构的外缘，承担脚手架传来的荷载并将之传给房屋结构，因此挑架的关键是悬挑支承结构，必须有足够的强度、刚度和稳定性，对于房屋结构也需做施工期承受这个外加荷载的验算。

悬挑支承结构的结构形式有两类。

(1) 用型钢焊接而成三角形桁架。桁架的上下支点直接与房屋结构中的预埋件焊接，称为下撑式。

(2) 用型钢作为悬挑梁，端部加钢丝绳或装有花篮螺栓的拉杆，拉绳（杆）的另一端与房屋结构相连，称为斜拉式（图 4.13)。

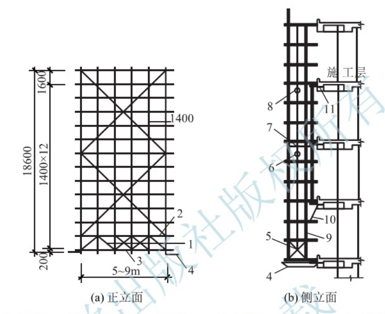


1—钢管脚手架；2—拉结铅丝；3—钢丝绳；4—轻型槽钢；5—预留孔；6—安全网；7—三角支架；8—8 号铁丝

图 4.13　悬挑支撑结构的结构形式

4）升降式脚手架

升降式脚手架的主要特点是脚手架不需满搭，只搭设满足施工操作及安全各项要求的高度；地面不需做支承脚手架的坚实地基，也不占施工场地；脚手架及其上承担的荷载传给与之相连的结构，对这部分结构的强度有一定的要求；随着施工进程，脚手架可随之沿外墙升降，结构施工时由下往上逐层提升，装修施工时由上往下逐层下降。升降式脚手架，包括自升降式、互升降式、整体升降式三种类型。图 4.14 为整体升降式脚手架示意图。



1—承力桁架；2—上弦杆；3—下弦杆；4—承力架；5—斜撑；6—电动倒链；7—挑梁；8—倒链；9—花篮螺栓；10—拉杆；11—螺栓

图 4.14　整体升降式脚手架示意图

5）里脚手架

里脚手架，又称内脚手架，搭设于建筑物内部，用于室内墙体砌筑、内装修和砌筑围墙等。里脚手架装拆较频繁，要求轻便灵活，装拆方便。通常将其做成工具式的，结构形式有折叠式、支柱式和门架式三种类型。图 4.15 为折叠式里脚手架示意图。

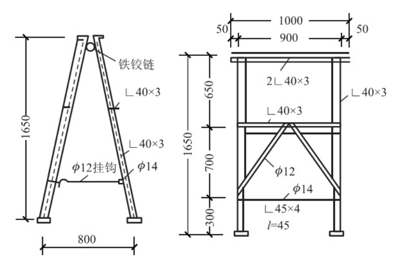


图 4.15　折叠式里脚手架示意图

3. 脚手架的搭设和使用要求

脚手架应有适当的宽度（不得小于1.5m，一般为2m左右）、一步架高度、离墙距离，能满足工人操作、材料堆放及运输的需要；应构造简单，便于搭拆、搬运，能多次周转使用，尽量节省用料；应有足够的强度、刚度及稳定性，保证施工期间在使用荷载作用下不变形、不倾斜、不摇晃，脚手板应满铺、铺稳，不得探头。脚手架地基有足够的承载能力，避免脚手架发生整体或局部沉降。有可靠的安全防护措施，如安全网、防电避雷措施等。脚手架搭设后应进行检查和验收，合格才能使用。严格控制使用荷载，确保有较大的安全储备，普通脚手架荷载应不超过3kN/m²。使用过程中应经常检查安全与否。

4.2.2 垂直运输设施

常用的垂直运输设施有井架、龙门架、建筑施工电梯和塔式起重机等。

1. 井架

井架（图4.16）是施工中最常用的、也是最为简便的垂直运输设施。它的稳定性好、运输量大，除用型钢或钢管加工的定型井架之外，还可采用许多种脚手架材料搭设起来，而且可以搭设较高的高度（达50m以上）。

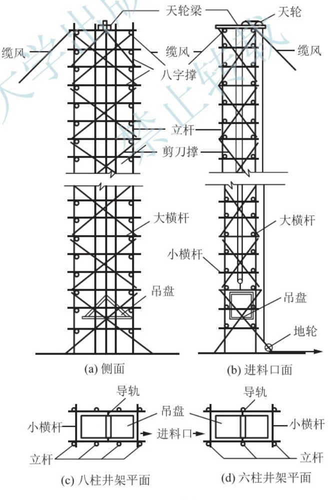
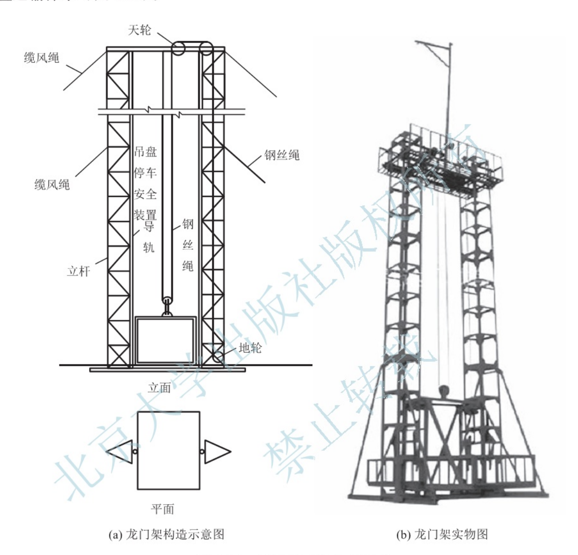


图4.16 井架

2. 龙门架

龙门架是由两根立杆及天轮梁（横梁）构成的门式架。在龙门架上装设滑轮（天轮及地轮）、导轨、吊盘（上料平台）、安全装置、起重索及缆风绳等，即构成一个完整的垂直运输体系（图 4.17）。



(a) 龙门架构造示意图　　(b) 龙门架实物图

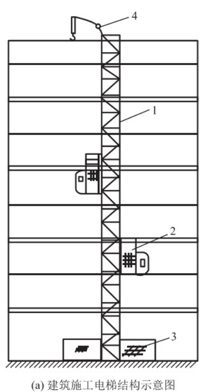
图 4.17　龙门架的基本构造形式

3. 建筑施工电梯

建筑施工电梯（图 4.18）又称人货两用电梯，是一种安装于建筑物外部，施工期间用于运送施工人员及建筑器材的垂直提升机械，是高层建筑施工不可缺少的关键设备之一。它附着在外墙或其他结构部位上，随建筑物升高，架设高度可达 200m 以上。

4. 塔式起重机

塔式起重机（图 4.19）具有提升、回转、水平输送等功能，能同时满足施工中垂直运输、水平运输的要求，多用于大型、高层建筑，结构安装工程。



(a) 建筑施工电梯结构示意图



(b) 建筑施工电梯实物图

1—塔架；2—吊厢；3—底厢；4—小吊杆

图 4.18 建筑施工电梯

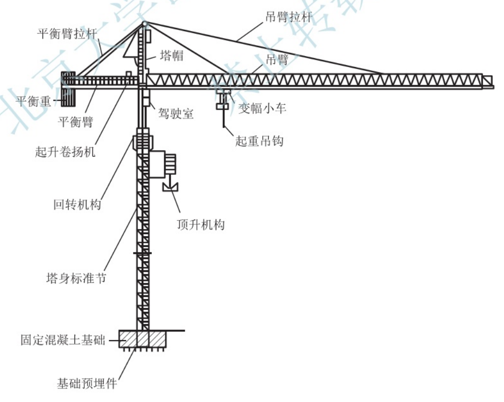


图 4.19 塔式起重机主体结构示意图

4.3 砖砌体施工

4.3.1 砖砌体的组砌形式

在砖的组砌中，把砖的长边垂直于墙面砌筑的砖叫做丁砖，把砖的长边平行于墙面砌筑的砖叫做顺砖。上下皮之间的水平缝叫做横缝，左右两砖之间的垂直缝叫做竖缝。标准的缝为 10mm，也可在 8 ～ 12mm 之间调节。

砖砌体的组砌要求：砖块排列应遵守上下错缝，灰浆饱满，内外搭接，避免垂直缝出现；同时组砌要科学合理，尽量少砍砖，提高砌筑效率。

砖墙根据其厚度不同，可采用全顺、两平一侧、全丁、一顺一丁、梅花丁或三顺一丁的砌筑形式，如图 4.20 所示。

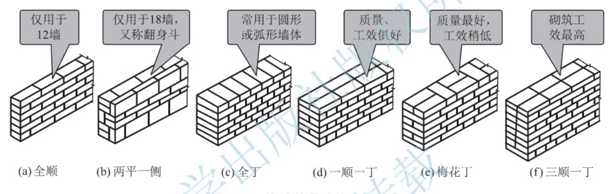


图 4.20　烧结普通砖的组砌形式

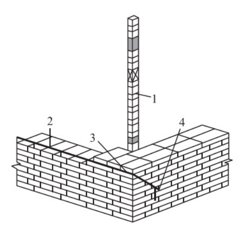
4.3.2 砖砌体的施工工艺

砖砌体施工通常包括抄平、放线、摆砖样、立皮数杆、挂准线、铺灰、砌砖等工序。如果是清水墙，则还要进行勾缝。砖应提前 1 ～ 2d 浇水湿润。

(1) 抄平放线。砌砖前，在基础防潮层或楼面上定出各层标高，并用水泥砂浆或 C10 细石砂混凝土抄平。在抄平的基础上，以龙门板上轴线定位钉为准拉麻线，弹出墙身定位轴线，并定出门窗洞口位置。借助经纬仪把墙身中心轴线引测到楼层上去。

(2) 摆砖样。按选定的组砌方法，在墙基顶面放线位置试摆砖样（生摆，即不铺灰），尽量使门窗垛符合砖的模数，偏差小时可通过竖缝调整，以减小斩砖数量，并保证砖及砖缝排列整齐、均匀，以提高砌砖效率。

(3) 立皮数杆。砌体施工应设置皮数杆，并应根据设计要求、砖的规格及灰缝厚度在皮数杆上标明砌筑的皮数及竖向构造变化部位的标高，如门窗洞、过梁、楼板等（图 4.21）。皮数杆可以控制每皮砖砌筑的竖向尺寸，是确定墙身两面横平竖直的主要依据，并使铺灰的厚度均匀，保证砖皮水平。皮数杆立于墙的转角处，其基准标高用水准仪校正。如墙的长度很大，可每隔 10 ～ 20m 再立一根。



1—皮数杆；2—水平控制线；3—转角处水平控制线及固定铁钉；4—末端水平控制线及固定铁钉

图 4.21 皮数杆示意图

(4) 铺灰砌砖。砌砖通常先在墙角按照皮数杆进行盘角，然后将准线挂在墙侧，作为墙身砌筑的依据，每砌一皮或两皮，准线向上移动一次。对墙厚不小于 370mm 的砌体，宜采用双面挂线砌筑，以保证墙面的垂直度与平整度。

砌筑宜采用一铲灰、一块砖、一揉压的“三一”砌筑法。当采用铺灰砌筑时，铺浆的长度不得超过 750mm；如施工期间气温超过 30℃时，铺浆长度不得超过 500mm。

4.3.3 砖砌体的质量要求

砌筑工程质量着重控制灰缝质量，砌筑工程质量要求做到“横平竖直、砂浆饱满、组砌得当、接槎牢固”。具体要求如下。

(1) 砖砌体的灰缝应横平竖直，厚薄均匀。水平灰缝厚度宜为 10mm，但不应小于 8mm，也不应大于 12mm。

(2) 砌体水平灰缝的砂浆饱满度不得低于 80%。

(3) 砖砌体的转角处和交接处应同时砌筑，严禁无可靠措施的内外墙分砌施工。对不能同时砌筑而又必须留置的临时间断处应砌成斜槎，斜槎水平投影长度不应小于高度的 2/3(图 4.22)。

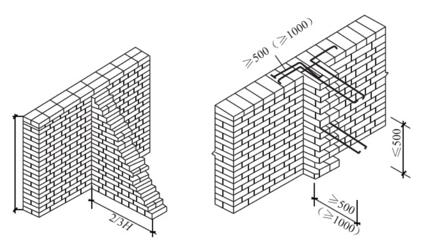


图 4.22 砖砌体留直缝

(4) 非抗震设防及抗震设防烈度为 6 度、7 度地区的临时间断处，当不能留斜槎时，除转角处外，可留直槎，但必须做成凸槎。留直槎处，应加设拉结钢筋，拉结钢筋的数量为每 120mm 墙厚放置 1ϕ6 拉结钢筋（120mm 厚墙放置 2ϕ6 拉结钢筋），间距沿墙高不应超过 500mm；埋入长度从留槎处算起，每边均不应小于 500mm；对抗震设防烈度为 6 度、7 度的地区，不应小于 1000mm；末端应有 90° 弯钩。

(5) 砖砌体组砌方法应正确，上、下错缝，内外搭砌，砖柱不得采用包心砌法。

(6) 砖砌体的位置及垂直度允许偏差应符合规范要求。

4.4 砌块施工

4.4.1 砌块砌体的组砌形式

砌块砌体一般采用全顺的砌筑形式。砌块砌筑前，应根据建筑物的平面图、立面图绘制砌块排列图。砌块排列图要求在立面图上绘出纵横墙，标出楼板、过梁、洞口等位置，然后以主规格为主，其他型号为辅，按墙体错缝搭接的原则和竖缝大小进行排列（图 4.23）。



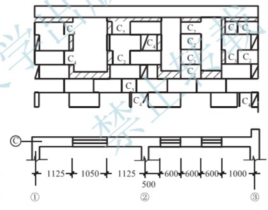




图 4.23　砌体工程施工示意图

砌块排列应遵循下列原则。

1) 砌块墙错缝搭砌

砌块墙砌筑时应错缝搭砌，搭接长度不足时，应在水平灰缝内设置 2ϕ4 的钢筋网片或 2ϕ6 的拉结钢筋。

(1) 混凝土小型空心砖块应底面朝上反砌于墙上，砌块应对孔错缝搭砌。上下皮小砌块竖向灰缝相互错开 190mm；个别情况当无法对孔砌筑时，普通混凝土小砌块错缝长度不应小于 90mm，轻骨料混凝土小砌块错缝长度不应小于 120mm，竖向通缝不应大于 2 皮。

(2) 加气混凝土砌块墙、粉煤灰砌块上下皮的垂直灰缝错开长度应不小于砌块长度的 1/3。

2）纵横墙交接处理

外墙转角处及纵横墙交接处，应交错搭砌。砌块墙的转角处，应使纵横墙砌块相互搭砌，隔皮砌块露端面；砌块墙的 T 形交接处，应使横墙砌块隔皮露端面（图 4.24 和图 4.25）。

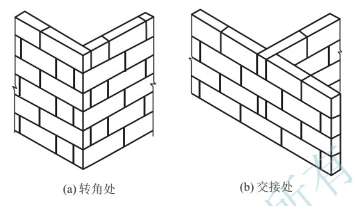


图 4.24　加气混凝土砌块墙的转角处及交接处砌法

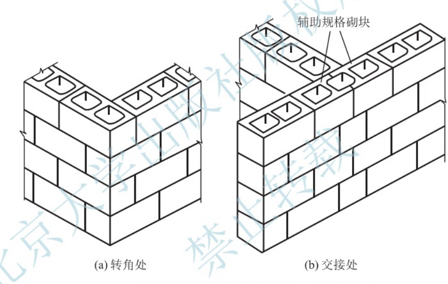


图 4.25　混凝土小型砌块墙转角处及交接处砌法

3）砌块墙局部镶砖

砌块墙局部必须镶砖时，应尽量使砖的数量达到最低，镶砖部分应分散布置。

4）混凝土小型砌块墙体中芯柱设置

（1）芯柱宜设置的部位。

①在外墙转角、楼梯间四角的纵横墙交接处的三个孔洞，宜设置素混凝土芯柱。

②五层及五层以上的房屋，应在上述部位设置钢筋混凝土芯柱。

（2）芯柱的构造要求。

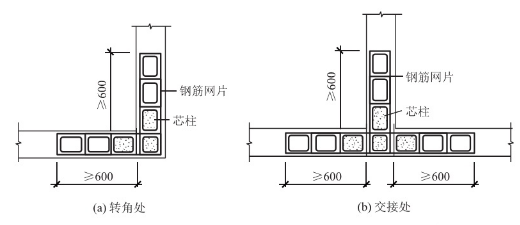
①芯柱截面不宜小于 120mm×120mm，宜用不低于 C20 的细石混凝土浇灌。

②钢筋混凝土芯柱每孔内插竖筋不应小于 1ϕ10，底部应伸入室内地面下 500mm 或与基础圈梁锚固，顶部与屋盖圈梁锚固。

③在钢筋混凝土芯柱处，沿墙高每隔 600mm 应设 ϕ4 钢筋网片拉结，每边伸入墙体不小于 600mm（图 4.26）。

④芯柱应沿房屋的全高贯通，并与各层圈梁整体现浇。





(a) 转角处　　(b) 交接处

图 4.26　混凝土芯柱

4.4.2　砌块砌体的施工工艺

砌块砌筑的主要工序有铺灰、砌块安装就位、校正、灌浆、镶砖等。

(1) 铺灰。采用稠度良好（5 ～ 7cm）的水泥砂浆，铺 3 ～ 5m 长的水平灰缝，铺灰应平整饱满，炎热天气或寒冷季节应适当缩短。

(2) 砌块安装就位。安装砌块采用摩擦式夹具，将所需砌块安装就位。砌块砌筑时应从转角处或定位砌块处开始，按施工段依次进行，其顺序为先远后近、先下后上、先外后内，在相邻施工段之间留阶梯形斜槎。

(3) 校正。用托线板检查砌块的垂直度，拉准线检查水平度，用橇棒、木槌调整偏差。混凝土小型空心砌块的砌体灰缝厚度应为 8 ～ 12mm，蒸压加气混凝土砌块砌体的水平灰缝厚度及竖向灰缝宽度分别宜为 15mm 和 20mm。

(4) 灌浆。采用砂浆灌竖缝，两侧用夹板夹住砌块，超过 3cm 宽的竖缝采用不低于 C20 的细石混凝土灌缝，收水后用原浆勾缝；此后，一般不允许再撬动砌块，以防损坏砂浆黏结力。

(5) 镶砖。当砌块间出现较大竖缝或过梁找平时，应采用不低于 MU10 的砖镶，砌镶砖砌体的灰缝应控制 15 ～ 30mm 以内，镶砖工作必须在砌块校正后即刻进行，在任何情况下都不得竖砌或斜砌。一般填充墙砌至接近梁板底时应留一定空隙，待填充墙砌筑完并应至少间隔 7d 后，再将其补砌、挤紧。

4.4.3　砌块砌体的质量要求

(1) 砌筑砂浆的强度等级应符合设计要求。

(2) 蒸压加气混凝土砌块砌体和轻骨料混凝土小型空心砌块砌体不应与其他块材混砌。

(3) 填充墙砌体留置的拉结钢筋或网片的位置应与块体皮数相符合。拉结钢筋或网片应置于灰缝中，埋置长度应符合设计要求，竖向位置偏差不应超过一皮高度。

(4) 填充墙砌筑时应错缝搭砌，填充墙砌体的灰缝厚度和宽度应正确。

(5) 填充墙砌体的砂浆饱满度（垂直及水平灰缝）均不小于80%。
(6) 填充墙砌体一般尺寸允许偏差应符合规范要求。

4.5 石砌体施工

4.5.1 石砌体的组砌形式

石砌体应采用铺浆法砌筑，石材砌体的组砌形式应符合下列规定。
(1) 内外搭砌，上下错缝，拉结石、丁砌石交错设置。
(2) 毛石墙拉结石每0.7m^2墙面不应少于1块。
毛石砌体的灰缝厚度宜为20～30mm，石块间不得有相互接触现象。石块间较大的空隙应先填塞砂浆，后用碎石块嵌实。
料石砌体的砂浆铺设厚度应略高于规定灰缝厚度，其高出厚度：细料石宜为3～5mm；粗料石、毛料石宜为6～8mm。料石砌体的灰缝厚度：细料石砌体，不宜大于5mm；粗料石和毛料石砌体，不宜大于20mm。料石砌体上下皮料石的竖向灰缝应相互错开，错开长度应不小于料石宽度的1/2。

4.5.2 石砌体的施工工艺

1. 毛石基础施工

(1) 砌筑毛石基础所用的毛石应质地坚硬、无裂纹，尺寸在200～400mm，质量为20～30kg，强度等级一般为MU20以上，采用M2.5或M5水泥砂浆砌筑，灰缝厚度一般为20～30mm，稠度为5～7cm，但不宜采用混合砂浆。
(2) 砌筑毛石基础的第一皮石块应坐浆，选大石块并将大面向下，然后分皮卧砌，上下错缝，内外搭砌；每皮高度为300mm，搭接不小于80mm；毛石基础扩大部分，如做成阶梯形，上级阶梯的石块应至少压砌下级阶梯的1/2，每阶内至少砌两皮，扩大部分每边比墙宽出100mm，二层以上应采用铺浆砌法。
(3) 毛石每日可砌高为1.2 m，为增加整体性和稳定性，应大、中、小毛石搭配使用，并按规定设置拉结石，拉结石长度应超过墙厚的2/3，毛石砌到室内地坪以下5cm，应设置防潮层。

2. 毛石墙施工

毛石墙施工前应先根据墙的位置及厚度在基础顶面放线、立皮数杆、拉准线，然后分层砌筑，其工艺同毛石基础砌法；每日可砌高为1.2 m，分段砌时所留踏步槎高度不超过一步架。
毛石墙的第一皮及转角处、交接处和洞口处，应用较大的平毛石砌筑。每个楼层墙体的最上一皮，宜用较大的毛石砌筑。毛石墙必须设置拉结石。

3. 料石墙施工

料石墙厚度等于一块料石宽度时，可采用全顺砌筑形式。料石墙厚度等于两块料石宽度时,可采用两顺一丁或丁顺组砌的砌筑形式。

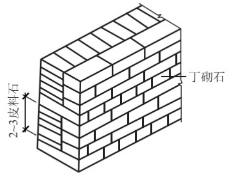


图 4.27 料石和砖的组合墙

料石墙的砌筑应采用铺浆法，垂直缝中应填满砂浆，并插捣至溢出为止，上下皮应错缝搭接，转角处或交接处应用石块搭砌，如确有困难，应在每层楼范围内至少设置钢筋网或拉结条两道。

在料石和毛石或砖的组合墙中，料石砌体和毛石砌体或砖砌体应同时砌筑，并每隔 2 ～ 3 皮料石层用丁砌层与毛石砌体或砖砌体拉结砌合。丁砌料石的长度宜与组合墙厚度相同（图 4.27）。

4. 挡土墙施工

挡土墙可采用毛石或料石，施工时，除应满足上述石墙施工所述要求外，还应符合下列规定。

(1) 砌毛石挡土墙。毛石的中部厚度不小于 20cm，每砌 3 ～ 4 皮为一个分层，每个分层高度应找平一次，两个分层高度间的错缝不得小于 80mm，外露面灰缝厚度不得大于 40mm，如图 4.28 所示。

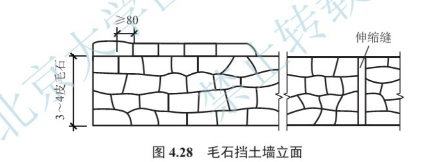


图 4.28 毛石挡土墙立面

(2) 砌料石挡土墙。宜采用丁顺组砌的砌筑形式，当中间部分用毛石填筑时，丁砌料石伸入毛石部分的长度不应小于 20cm。

(3) 砌筑挡土墙。应按设计要求收坡和收石，并设置泄水孔。

(4) 挡土墙内侧回填土必须分层夯填，分层松土厚度应为 300mm，墙顶土面应有适当坡度，使流水流向挡土墙外侧面。

4.5.3 石砌体的质量要求

(1) 石材及砂浆强度等级必须符合设计要求，砂浆饱满度不应小于 80%；石材砌体的组砌形式应符合有关的规定。

(2) 石材砌体的轴线位置及垂直度允许偏差应符合规范的要求。

4.6 砌体工程冬期施工

当室外日平均气温连续5d稳定低于5℃时，砌体工程应采取冬期施工措施，并应在气温突然下降时及时采取防冻措施。

4.6.1 材料

冬期施工所用的材料应符合以下规定。

(1) 砌块在砌筑前，应清除冰霜，遭水浸冻后的砌块不得使用。

(2) 石灰膏、黏土膏和电石膏等应防止受冻，如遭冻结，应经融化后使用。

(3) 拌制砂浆所用的砂，不得含有冰块和直径大于10mm的冰结块。

(4) 冬期施工不得使用无水泥配制的砂浆，砂浆宜采用普通硅酸盐水泥拌制。

(5) 拌和砂浆宜采用两步投料法。水的温度不得超过80℃，砂的温度不得超过40℃。

(6) 普通砖在正温度条件下砌筑应适当浇水润湿；在负温度条件下砌筑时，可不浇水，可适当加大砂浆的稠度。

(7) 冬期施工砂浆试块的留置，除应按常温规定要求外，尚应增留不少于1组与砌体同条件养护的试块，测试检验28d强度。

(8) 冬期施工中，每日砌筑后应及时在砌体表面覆盖保温材料。

4.6.2 冬期施工常用方法

砌体工程冬期施工常用方法有掺外加剂法、冻结法、暖棚法等。

1) 掺外加剂法

掺外加剂法(图4.29)是在水泥砂浆或水泥混合砂浆中，掺入一定数量的抗冻早强剂，降低冰点，使砂浆在一定负温下不致冻结，且砂浆强度还能继续增长，与砖石形成一定的黏结力，从而在砌体解冻期间不必采用临时加固措施的一种冬期施工方法。该法能够保证工程质量，操作方便，经济适用，所以在我国冬期施工中应用最为广泛。



(a) 早强防冻剂 (b) 复合高效早强防冻剂 (c) 木质素磺酸钙 (d) 泵送早强防冻剂

图4.29 外加剂种类

常用的抗冻早强剂有两种：①氯化钠（单盐）或氯化钠和氯化钙（双盐）。氯盐砂浆所用的盐类宜为氯化钠，气温在−15℃以下时，可掺用双盐；②复合抗冻早强剂。为



防止配筋和预埋铁件发生锈蚀，可采用氯化钠加亚硝酸钠复合抗冻早强剂。

为了便于施工，砂浆在使用时的温度不应低于5℃，且当日最低气温小于等于-15℃时，对砌筑承重墙体的砂浆等级应比常温施工时提高。

2）冻结法

冻结法是以不掺化学外加剂的普通水泥砂浆或水泥混合砂浆进行施工砌筑的一种冬期施工方法。冻结法施工的砖石砌体，砂浆冻结后仍留有较大的冻结强度，且能随气温的降低而逐渐提高；当气温升高而使砌体解冻时，砂浆仍然等于冻结前的强度，因而，可保证砌体在解冻期间的稳定和安全。当转入常温时，砂浆强度仍可逐渐增长。

冻结法施工时，砂浆使用的温度不应低于10℃。当气温较低时，可根据气温情况适当提高砂浆强度等级1～2级。

在冻结法施工的解冻期间，应经常对砌体进行观测和检查，如发现裂缝、不均匀下沉等情况，应立即采取加固措施。

3）暖棚法

暖棚法（图4.30）是利用简易结构和廉价的保温材料，将需要砌筑的工作面临时封闭起来，使砌体在正温条件下砌筑和养护。采用暖棚法要求棚内块材的砌筑温度不得低于5℃，距离所砌结构底面0.5m处棚内温度也不得低于5℃。故应经常采用热风装置进行加热。由于搭暖棚需要消耗大量的材料、人工和能源，所以暖棚法成本高，效率低，一般不宜采用。主要适用于地下室墙、挡土墙、局部修复工程的砌筑。


图4.30 暖棚施工法

本章小结

通过本章的学习，了解和熟悉砌筑材料、一般砖砌体、填充墙的砌筑工艺；砌体材料的性能、脚手架形式、垂直运输机械的选择；小型砌块的种类、规格和砌筑工艺；砌体工程施工的质量要求；砌体工程冬期施工的含义、一般规定和施工方法。另外，需要重点掌握砌体结构的组砌形式以及砖砌体施工工艺、质量要求和安全技术措施。脚手架和塔吊施工方案的编制是本章的重点学习内容。

习　题

一、简答题

1. 砌筑砂浆的类型及其各自的性能与用途各是什么?
2. 砌体、块体、砂浆这三者之间有何关系?
3. 砖砌体的砌筑工艺是怎样的?
4. 对砖墙砌筑临时间断处的留槎与接槎的要求有哪些?
5. 砌筑脚手架的类型有哪些?
6. 扣件式钢管脚手架有哪些扣件?
7. 砌筑砂浆有哪些种类?
8. 砖墙的组砌形式有哪些?
9. 砌筑时为什么要做到“横平竖直，砂浆饱满”?
10. 砖砌体的质量要求有哪些?

二、选择题

1. 施工期间最高温度为25℃，砌筑用普通水泥砂浆拌成后最迟必须在（　　）内使用完毕。(2013年二级建造师实务考试真题单选题)

A. 1h　　B. 2h　　C. 3h　　D. 4h

2. 关于砌体结构构造措施的说法，正确的是（　　）。(2013年二级建造师实务考试真题多选题)

A. 砖墙的构造措施主要有伸缩缝、沉降缝、圈梁
B. 伸缩缝两端结构的基础可不分开
C. 沉降缝两端结构的基础可不分开
D. 圈梁可以抵抗基础不均匀沉降引起墙体内产生的拉应力
E. 圈梁可以增加房屋结构的整体性

3. 用于测定砌筑砂浆抗压强度的试块，其养护龄期是（　　）天。(2014年二级建造师实务考试真题单选题)

A. 7　　B. 14　　C. 21　　D. 28

4. 下列影响扣件式钢管脚手架整体稳定性的因素中，属于主要影响因素的有（　　）。(2014年二级建造师实务考试真题多选题)

A. 立杆的间距　　B. 立杆的接长
C. 水平杆的步距　　D. 水平杆的接长方式
E. 连墙杆的设置

第 5 章

钢筋混凝土工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
模板工程	重点掌握	常用模板的构造、受力特点、安拆方法以及模板的设计
钢筋工程	重点掌握	钢筋的种类、性能、验收，钢筋连接方法的选择及施工工艺
混凝土工程	重点掌握	混凝土的配料、搅拌、运输、浇筑、振捣、养护方法及施工缝的留设

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
钢筋的配料	掌握	根据构件配筋详图，将构件中各个编号的钢筋，分别计算出钢筋下料长度，统计出每个构件中每一种规格的钢筋数量，以及该项目中各种规格的钢筋总数量，填写配料单，以便进行钢筋的备料和加工
混凝土的调配	掌握	将设计配合比转化为施工配合比，更加合理地运用于实际
模板设计的编制要点	掌握	模板设计的计算，为以后培养高端应用型人才做准备（见附录3）



案例导航

以下这三个工序分别是什么施工流程？



本章问题讨论

这三个施工流程施工时要注意哪些事项?

5.1 模板工程

模板工程占钢筋混凝土工程总价的 20% ～ 30%，占劳动量的 30% ～ 40%，占工期的 50% 左右，决定着施工方法和施工机械的选择，直接影响工期和造价。

5.1.1 模板的分类

1. 按材料分类

模板按所用材料分为木模板、钢模板、胶合板模板、钢框木（竹）胶合板模板、塑料模板、玻璃钢模板、铝合金模板、钢丝网水泥模板和钢筋混凝土模板等。

2. 按结构类型分类

各种现浇混凝土结构构件，由于其形状、尺寸、构造不同，模板的构造及组装方法也不同。

模板按结构的类型不同，分为基础模板、柱模板、梁模板、楼板模板、楼梯模板、墙模板、壳模板、烟囱模板、桥梁墩台模板等。

3. 按施工方法分类

根据施工方法，模板可分为现场装拆式模板、固定式模板、移动式模板和永久性模板等。

(1) 现场装拆式模板。是指按照设计要求的结构形状、尺寸及空间位置在施工现场组装的模板。

(2) 固定式模板。一般用来制作预制构件，如各种胎模（土胎模、砖胎模、混凝土胎模），即属于固定式模板。

(3) 移动式模板。是指随着混凝土的浇筑，可沿水平或垂直方向移动的模板，如滑升模板、提升模板、爬升模板、大模板、飞模等。

(4) 永久性模板。又称一次性消耗模板，即在现浇混凝土结构浇筑后，模板不再拆除，其中有预应力混凝土薄板、玻璃纤维水泥模板、钢桁架型混凝土板、钢丝网水泥模板等。

5.1.2 模板系统的组成和要求

1. 模板系统的组成

模板系统是由模板和支撑两部分组成的，其作用是使混凝土按设计的形状、尺寸、

位置成型的模型板。

2.模板系统的基本要求

模板及其支撑应符合下列基本要求。

(1) 保证工程结构和构件各部分形状和相互位置的准确性。

(2) 应具有足够的承载能力、刚度和稳定性，能可靠地承受浇筑混凝土的重量、侧压力以及施工荷载。

(3) 构造简单，装拆方便，便于钢筋的绑扎与安装、混凝土的浇筑与养护。

(4) 模板接缝严密，不漏浆。

(5) 因地制宜，就地取材，周转次数多，损耗要小，成本低，技术先进。

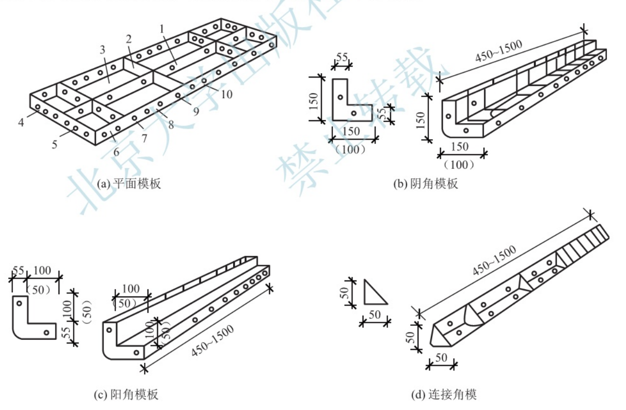
(6) 对清水混凝土工程及装饰混凝土工程，应使用能达到设计效果的模板。

3.定型模板及工具式支撑

为加快施工进度、降低成本、节约模板，模板系统应向定型模板和工具式支撑发展。

1) 定型模板

(1) 常用的定型模板。分为钢定型模板和钢木定型模板两种。钢定型模板的主要类型有平面模板、阳角模板、阴角模板、连接角模等（图 5.1）。

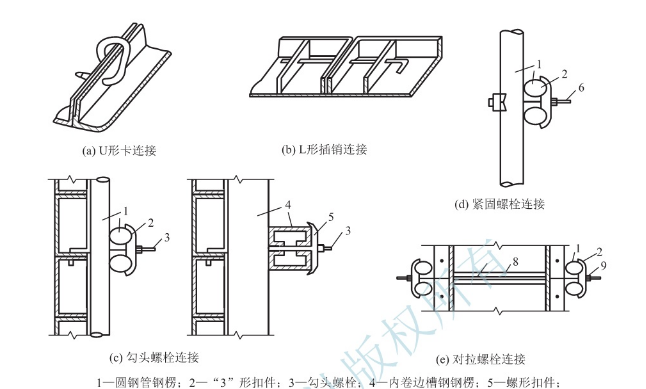


(a) 平面模板　(b) 阴角模板　(c) 阳角模板　(d) 连接角模

1—中纵肋；2—中横肋；3—面板；4—横肋；5—插销孔；6—边肋；7—凸棱；8—凸鼓；9—U 形卡孔；10—钉子孔

图 5.1　钢模板类型

(2) 定型模板的连接件。主要有 U 形卡、L 形插销、勾头螺栓、紧固螺栓、对拉螺栓和扣件等（图 5.2）。



1—圆钢管钢楞；2—“3”形扣件；3—勾头螺栓；4—内卷边槽钢钢楞；5—螺形扣件；
6—紧固螺栓；7—对拉螺栓；8—塑料套管；9—螺母

图 5.2 钢模板的连接件

2）工具式支撑

采用各种定型桁架、支柱、托具、卡具等组成模板的支架系统，这样有利于结构稳定、安全和加快施工进度。

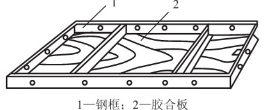
4. 其他常用工具式模板

1）胶合板模板

胶合板模板分为木胶合板模板和竹胶合板模板。木胶合板模板通常用 7、9、11 等奇数层准板（薄木片）经热压固化而胶合成型，相邻层的纹理方向相互垂直。竹胶合板和竹芯木面胶合板是在木胶合板基础上发展起来的新型模板，具有幅面大、自重轻、锯截方便、材质坚韧、不透水、不翘曲、不开裂、开洞容易等优点，浇筑出的混凝土外观比较清晰美观，应用广泛。尺寸一般为 915mm×1830mm、1220mm×2440mm。

2）钢框木（竹）胶合板模板

钢框木（竹）胶合板模板是以热轧异型钢为钢框架，以覆面胶合板作板面的一种组合式模板。面板有木、竹胶合板，单片木面竹芯胶合板等。钢框木（竹）胶合板有系列规格尺寸，长度：900 ～ 2400mm，宽度：200 ～ 900mm，级差为 50mm 或其倍数。钢框木（竹）胶合板模板具有自重轻、用钢量少、面积大，可以减少模板拼缝，提高结构浇筑后表面的质量和维修方便，周转次数可达 50 次以上，面板损伤后可用修补剂修补等特点（图 5.3）。



1—钢框；2—胶合板

图 5.3 钢框胶合板模板示意图

3）大模板

平模是混凝土墙体施工大模板，其单块模板面积较大，通常是以一面现浇混凝土墙体为一块模板，主要用于剪力墙结构或框架－剪力墙结构中的剪力墙施工，施工方法是采用工具式大型模板，配以相应的起重吊装机械，通过各种合理的施工组织，以工业化生产方式在施工现场浇筑钢筋混凝土墙体。大模板具有安装和拆除简便、尺寸准确、板面平整等特点。

采用大模板进行建筑施工，常以建筑物的开间、进深、层高的标准化为基础，以采用大模板为主要施工手段，以现浇钢筋混凝土墙体为主导工序，组织有节奏的均衡施工。这种施工方法速度快，劳动强度低，工程质量好，结构整体性和抗震性能好，混凝土表面平整光滑，并减少装修抹灰湿作业。由于该工艺的工业化、机械化施工程度高，综合经济技术效益好，因而受到普遍欢迎（图 5.4）。



图 5.4　大模板施工

4）隧道模

隧道模是一种用于在现场同时浇筑墙体和楼板混凝土的工具式定型模板，因为其外形像隧道，故称其为隧道模板。

隧道模分为全隧道模和半隧道模两种。全隧道模的基本单元是一个完整的隧道模板，半隧道模则是由若干个单元角模组成，然后用两个半隧道模对拼而成为一个完整的隧道模。在使用上全隧道模不如半隧道模灵活，对起重设备的要求也较高，故其逐渐被半隧道模所取代。

5）飞模

飞模是一种大型工具式模板，因其外形如桌，故又称为桌模或台模。由于它可以借助起重机械从已浇筑完混凝土的楼板下吊运飞出转移到上层重复使用，故称为飞模。

该工艺可以借助起重机械从已浇筑完混凝土的楼板下吊运飞出转移到上层重复使用，可一次组装、重复使用，从而减少了逐层组装、支拆模板的工序，简化模板支拆工艺，节约模板支拆用工，加快施工进度。飞模适用于大开间、大柱网、大进深的现浇钢筋混凝土楼盖施工，尤其适用于现浇板柱结构（无柱帽）楼盖的施工。

6）滑升模板

滑升模板是随着混凝土的浇筑而沿结构或构件表面向上垂直移动的模板。滑动模板的施工是一种机械化程度较高的活动连续成型的施工工艺。

滑升模板施工时，在建筑物的底部，按照建筑物或构筑物平面，沿其结构周边安装高 1.2m 高的模板，随后在模板内不断分层绑扎钢筋和浇筑混凝土，利用液压提升设备不断向上滑升模板，连续完成混凝土的浇筑工作。利用该施工工艺，不但施工速度快、结构整体性强、施工占地少、节约模板和劳动力、改善劳动条件，而且有利于安全施工，提高工程质量。这种施工工艺不仅被广泛应用于贮仓、水塔、烟囱、桥墩、竖井壁、框架等工业构筑物，而且逐步向高层和超高层民用建筑发展。

7）爬升模板

爬升模板即爬模，是一种适用于现浇钢筋混凝土竖直或倾斜结构施工的模板工艺。可分为“有架爬模”（即模板爬架子、架子爬模板）和“无架爬模”（即模板爬模板）两种。

该工艺将大模板工艺和滑升模板工艺相结合，既保持大模板施工墙面平整的优点，又保持了滑模利用自身设备使模板向上提升的优点，可用于高层建筑的墙体、桥梁、塔柱等的施工（图 5.5）。



图 5.5 爬模施工

5. 现浇结构模板构造

1）基础模板

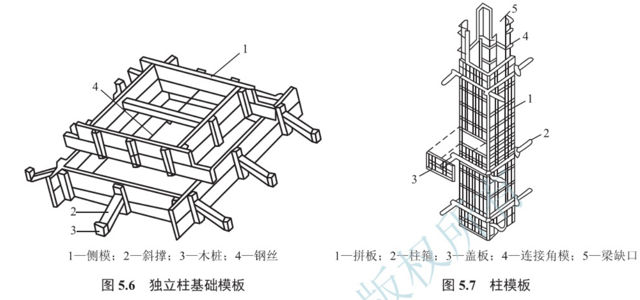
基础模板根据基础的形式可分为独立基础模板、杯形基础模板、条形基础模板等。独立基础支模方法和模板构造，如图 5.6 所示。若是杯形基础，则在其中放入杯形模板。如土质良好，阶梯形基础的最下一级可不用模板而进行原槽浇筑。在安装基础底板前，应核对地基垫层的标高及基础中心线，弹出基础边线。然后再校正模板上口的标高，使之符合设计要求。经检查无误后将模板钉（卡、栓）牢撑稳。安装阶梯形基础模板时，要保证上、下模板不发生相对位移。

2）柱模板

矩形柱的模板由四面拼板、柱箍、连接角模等组成（图 5.7）。柱模板主要是解决垂直度及抵抗侧压力问题。为了防止在混凝土浇筑时模板产生鼓胀变形，模板外应设置柱箍，柱箍间距由计算确定，应上疏下密，一般不超过 100mm。柱模板顶部根据需要开有与梁模板连接的缺口，底部开有清渣口，以便于清理垃圾。当柱较高时，可根据需要在柱中设置混凝土浇筑口。对于独立柱模板，其四周应加支撑，以免浇筑混凝土时产生倾斜。

在安装柱模板前，应先绑扎好钢筋，同时在基础面上或楼面上弹出纵横轴线和柱四

周边线，固定小方盘；然后立模板，并用临时斜撑固定；再由顶部用垂球校正，检查其标高位置无误后，即用斜撑卡牢固定。



1—侧模；2—斜撑；3—木桩；4—钢丝

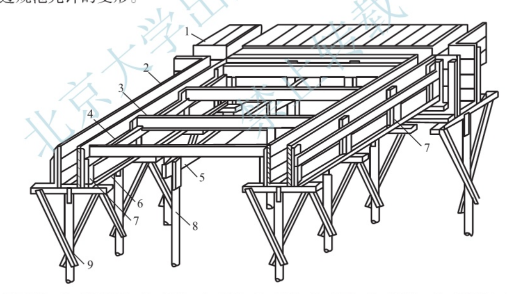
图 5.6　独立柱基础模板

1—拼板；2—柱箍；3—盖板；4—连接角模；5—梁缺口

图 5.7　柱模板

3）梁及楼板模板

梁模板主要由底模板、侧模板及支撑等组成（图 5.8）。梁模板既承受混凝土横向侧压力，又承受垂直压力。因此，梁模板及其支撑系统稳定性要好，有足够的强度和刚度，不致超过规范允许的变形。



1—楼板模板；2—梁侧模板；3—格栅；4—横档；5—牵杠；6—夹条；7—短撑木；8—牵杠撑；9—支撑

图 5.8　梁及楼板模板

梁模板应在复核梁底标高、校正轴线位置无误后进行安装。当梁的跨度大于 4m 时，应使梁底模中部略为起拱，以防止由于灌注混凝土后跨中梁底下垂；如设计无规定时，起拱高度宜为全跨长度的 1/1000 ～ 3/1000。在梁底模板下每隔一定间距支设支柱（又称顶撑、琵琶撑）或桁架承托，支柱有木支柱和钢管支柱之分。

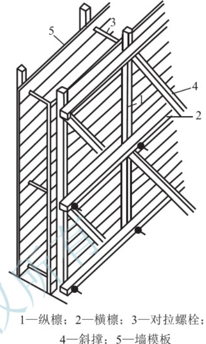
为了调整梁模板的标高，在木支柱底部要垫木楔，钢管支柱宜用伸缩式的。在多层房屋施工中，应使上、下层支柱对准在同一条竖直线上。梁侧模板承受混凝土侧压力，

底部用钉在支撑顶部的夹条夹住，顶部可由支撑楼板模板的格栅顶住，或用斜撑顶住。

板模板及其支撑系统主要用于抵抗混凝土的垂直荷载和其他施工荷载。板模板安装时，首先复核板底标高，搭设模板支架，然后用阴角模板从四周与墙、梁模板连接，再向中央铺设。

4）墙模板

墙模板由两片侧板组成（图 5.9）。每片侧板由若干块拼接板或定型板拼接而成。侧板外用纵、横檩木及斜撑固定，并装设对拉螺栓及临时撑木。对拉螺栓的间距由计算确定。墙模板主要承受混凝土的侧压力，因此必须加强墙体模板的刚度，并设置足够的支撑，以确保模板不变形和发生位移。墙模板安装时，先弹出墙中心线和两边线，钢筋绑扎好后，安装模板并设支撑，在顶部用线锤吊直，拉线找平后固定支撑。

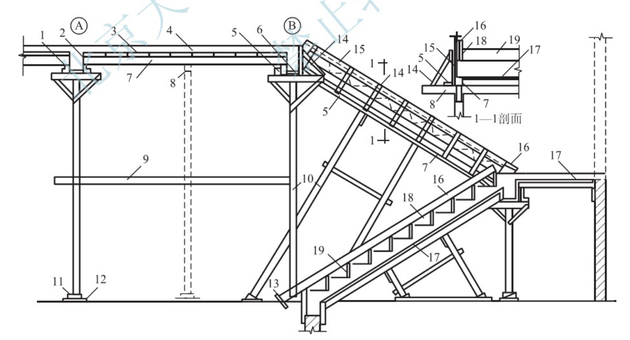


1—纵檩；2—横檩；3—对拉螺栓；
4—斜撑；5—墙模板

图 5.9 墙模板

5）楼梯模板

板式楼梯的模板由楼梯底模板、侧板及梯级模板构成，其构造如图 5.10 所示。楼梯楼板施工前应根据设计放样，先安装平台梁及基础模板，再装楼梯斜梁或楼梯底模板，然后安装楼梯外帮侧板。安装外帮侧板时，应先在其内侧弹出楼梯底板厚度线，用套板画出踏步侧板位置线，钉好固定踏步侧板的挡木，再安装侧板。



1—横挡木；2—梁侧板；3—定型模板；4—异形板；5—夹板；6—梁底模板；7—楞木；
8—横木；9—拉条；10—支柱；11—木楔；12—垫板；13—木桩；14—斜撑；15—边板；
16—反扶梯基；17—板底模板；18—三角木；19—梯级模板

图 5.10 肋形楼盖及楼梯模板

5.1.3 模板的设计

模板设计的内容，主要包括选型、选材、配板、荷载计算、结构设计和绘制模板施工图以及拟定制作、安装、拆除方案等。各项设计的内容和详尽程度，可根据拟建结构的形式和复杂程度及具体施工条件来确定。这里主要介绍模板结构设计。

模板结构设计，包括模板结构形式及模板材料的选择、模板及支架各部件规格尺寸的确定以及节点设计等。模板设计应根据工程结构形式、施工组织设计、施工单位现有的技术物质条件、相关的设计、施工规范等条件进行。常用的木拼模板和定型组合钢模，一般按经验进行支设，不需要进行设计和验算。对一些重要结构的模板、特殊结构的模板，应进行设计和验算，以确保工程质量和施工安全，防止浪费。

1. 荷载

荷载分为荷载标准值和荷载设计值，荷载设计值等于荷载标准值乘以相应的荷载分项系数。

1）荷载标准值

(1) 模板及支架自重。应根据设计图样或实物计算确定，对肋形楼板及无梁楼板模板的自重，可参考表 5-1 确定。

表 5-1　横板及支架自重标准值（kN/m^3）

模板构件名称	木模板	组合钢模板	钢框胶合板模板
平板的模板及小楞	0.30	0.50	0.40
楼板模板（包括梁的模板）	0.50	0.75	0.60
楼板模板及其支架（层高小于等于 4m）	0.75	1.10	0.95

(2) 新浇混凝土施加的竖向荷载。对普通混凝土，取 24kN/m^3；对其他混凝土可根据实际密度确定。

(3) 钢筋施加的荷载。荷载值决定于结构构件的钢筋用量，可根据工程图样确定。一般梁板结构钢筋自重标准值可按经验取值：楼板取 1.1kN/m^3，梁取 1.5kN/m^3。

(4) 施工人员及设备荷载。

①计算模板及直接支承模板的小楞时，对均布荷载取 2.5kN/m^2，另应以集中荷载 2.5kN 再行验算，比较两者所得的弯矩值，按其中较大者采用。

②计算直接支承小楞结构构件时，均布活荷载取 1.5kN/m^2。

③计算支架立柱及其他支承结构构件时，均布活荷载取 1.0kN/m^2。

(5) 振捣混凝土时产生的荷载。对水平面模板，可采用 2.0kN/m^2；对垂直面模板，可采用 4.0kN/m^2，其作用范围为新浇筑混凝土侧压力的有效压头高度以内。

(6) 新浇筑混凝土对模板侧面的压力。采用内部振捣器时，可按式 (5-1) 和式 (5-2) 计算，并取其较小值：

$$F = 0.22\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 v^{1/2} \tag{5-1}$$

$$F=\gamma_c H \tag{5-2}$$

式中　F——新浇筑混凝土对模板的最大侧压力（kN/m^2）；

γ_c——混凝土的重力密度（kN/m^3）；

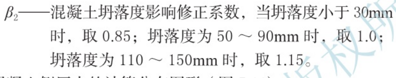
t_0——新浇筑混凝土的初凝时间（h），可按实测确定，当缺试验资料时，可采用 $t_0=200/(T+15)$ 计算（T 为混凝土的温度，℃）；

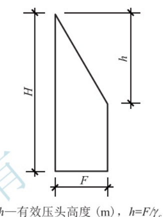
v——混凝土的浇筑速度（m/h）；

H——混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度（m）；

β_1——外加剂影响修正系数，不掺外加剂时取 1.0；掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2；

β_2——混凝土坍落度影响修正系数，当坍落度小于 30mm 时，取 0.85；坍落度为 50 ～ 90mm 时，取 1.0；坍落度为 110 ～ 150mm 时，取 1.15。





h—有效压头高度（m），$h=F/\gamma_c$

图 5.11　侧压力计算分布图

混凝土侧压力的计算分布图形（图 5.11）。

(7) 倾倒混凝土时产生的荷载。倾倒混凝土时对垂直面模板产生的水平荷载，可按表 5-2 采用。

表 5-2　倾倒混凝土时产生的水平荷载标准值（kN/m^2）

序　　号	供料方法	水平荷载
1	滑槽、串筒或导管	2
2	容积小于 $0.2m^3$ 的运输工具	2
3	容积为 0.2 ～ $0.8m^3$ 的运输工具	4
4	容积大于 $0.8m^3$ 的运输工具	6

2) 荷载设计值

进行模板结构设计时应将荷载标准值换算成设计值。设计值为标准值乘以分项系数。模板及支架荷载类别与分项系数见表 5-3。

表 5-3　模板及支架荷载类别与分项系数

荷载编号	荷载名称	荷载类别	R_i
①	模板及支架自重	恒载	1.2
②	新浇筑混凝土自重	恒载	
③	钢筋自重	恒载	
④	施工人员及施工设备荷载	活载	1.4
⑤	振捣混凝土时产生的荷载	活载	
⑥	新浇筑混凝土对模板侧面的压力	活载	1.2
⑦	倾倒混凝土时产生的荷载	活载	1.4

2. 荷载组合

模板与支架计算的荷载组合见表 5-4。

表 5-4 模板与支架计算的荷载组合

项次	项　目	荷载组合	
		计算承载力	验算刚度
1	平板及薄壳的模板及支架	①+②+③+④	①+②+③
2	梁和拱模板的底板和支架	①+②+③	①+②+③
3	梁、拱、柱（边长 ≤ 300mm）、墙（厚 ≤ 100mm）的侧面模板	⑤+⑥	⑥
4	大体积结构、柱（边长 >300mm）、墙（厚 >100mm）的侧面模板	⑥+⑦	⑥

3. 计算规定

(1) 计算模板及支架的强度时，按安全等级为第三级的结构构件考虑（临时结构）。因模板结构属于临时性结构，设计钢模板及支架时，设计荷载值可乘以 0.85 以内的系数予以折减；采用冷弯薄壁型钢时，设计荷载值不应折减。

(2) 计算模板刚度要求。模板允许变形值如下。

①结构表面外露时，模板允许变形值不大于 1/400 模板跨度。

②结构表面隐蔽时，模板允许变形值不大于 1/250 模板跨度。

③支架压缩变形值或弹性挠度不大于 1‰结构跨度。

5.1.4 模板施工

模板工程的施工包括模板的选材、选型、设计、制作、安装、拆除和周转过程。

模板工程在土建施工中扮演重要的角色，直接影响工程施工成本、施工进度及混凝土结构成型的表观质量。

模板工程施工的基本流程：编制模板施工方案→搭设模板支架→安装模板楞木及面板→浇筑混凝土→养护至规定强度后拆模→模板清理。

1. 模板的安装要求

(1) 模板安装中，应对模板及其支架进行观察和维护。

(2) 模板的接缝应不漏浆。

(3) 模板与混凝土的接触面应清理干净，并涂刷隔离剂。

(4) 浇筑混凝土前，模板内的杂物应清理干净。

(5) 对清水混凝土工程及装饰混凝土工程，应使用能达到设计效果的模板。

(6) 固定在模板上的预埋件、预留口和预留洞均不得遗漏，且应安装牢固。

2. 模板的拆除

模板拆除的要求如下。

(1) 侧模的拆除。在混凝土强度能保证拆模时不粘皮、不掉角、不损坏即可，一般为 1 ～ 2.5N/mm^2。

(2) 底模的拆除。应在与混凝土结构同条件养护的试件达到规定强度标准值时，方可拆除，表 5-5 为底模拆除时混凝土的强度要求。

表 5-5　底模拆除时混凝土的强度要求

构件类型	构件跨度/m	达到设计的混凝土立方体抗压强度标准值的百分率	构件类型	构件跨度/m	达到设计的混凝土立方体抗压强度标准值的百分率
板	＜ 2	≥ 50%	梁、拱、壳	＜ 8	≥ 75%
	≥ 2，＜ 8	≥ 75%		≥ 8	≥ 100%
	≥ 8	≥ 100%	悬臂构件	—	≥ 100%

3. 拆模顺序

(1) 一般是先支后拆，后支先拆，先拆除侧模板，后拆除底模板。

(2) 对于肋形楼板的拆模顺序，首先拆除柱模板，然后拆除楼板底模板、梁侧模板，最后拆除梁底模板。

(3) 多层楼板模板支架的拆除，应按下列要求进行。

①上层楼板正在浇筑混凝土时，下一层楼板的模板支架不得拆除，再下一层楼板模板的支架仅可拆除一部分。

②跨度不小于 4m 的梁均应保留支架，其间距不得大于 3m。

4. 拆模的注意事项

(1) 模板拆除时，不应对楼层形成冲击荷载。

(2) 拆除的模板和支架宜分散堆放，并及时清运。

(3) 拆模时，应尽量避免混凝土表面或模板受到损坏。

(4) 拆下的模板，应及时加以清理、修理，按尺寸和种类分别堆放，以便下次使用。

(5) 若定型组合钢模板背面油漆脱落，应补刷防锈漆。

(6) 已拆除模板及支架的结构，应在混凝土达到设计的混凝土强度标准后，才允许承受全部使用荷载。

(7) 当承受施工荷载产生的效应比使用荷载更为不利时，必须经过核算，并加设临时支撑。

5.2 钢筋工程

钢筋工程是包括钢筋进场检验、钢筋加工、钢筋连接、钢筋安装等一系列技术工作和完成实体的总称。钢筋工程在钢筋混凝土结构中起着关键的作用，钢筋工程又属于隐蔽工程，在混凝土浇筑完成后其质量难以检查，因此需要在施工过程中进行严格的质量控制。

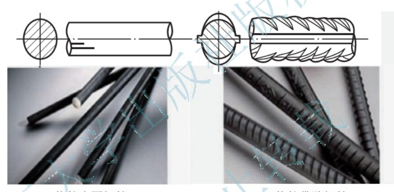
5.2.1 钢筋的种类、性能及验收

1. 钢筋的种类和性能

钢筋品种很多，在混凝土结构中所用的钢筋按其轧制外形、生产工艺、化学成分和钢筋强度等分为下列若干种类。

(1) 按生产、加工工艺，分为热轧钢筋和冷加工钢筋。

热轧钢筋（图 5.12）具有软钢的性质，为最常用的钢筋。有热轧带肋钢筋（HRB）、热轧光圆钢筋（HPB）和余热处理钢筋（RRB）。热轧光圆钢筋，如 HPB300（GB 50010—2010 中强度级别为 300N/mm^2 的Ⅰ级钢筋）。热轧带肋钢筋，如 HRB335（GB 50010—2010 中强度级别为 335N/mm^2 的Ⅱ级钢筋）、HRB400（GB 50010—2010 中强度级别为 400N/mm^2 的Ⅲ级钢筋）、HRBF400（GB 50010—2010 中强度级别为 400N/mm^2 的细晶粒热轧Ⅲ级钢筋）。普通钢筋一般采用 HPB300 级、HRB335 级、HRB400 级、RRB400 级余热处理带轧钢筋。



(a) 热轧光圆钢筋　　(b) 热轧带肋钢筋

图 5.12　热轧钢筋

热轧钢筋的力学性能和工艺性能见表 5-6。余热处理钢筋的力学性能和工艺性能见表 5-7。

表 5-6　热轧钢筋的力学性能和工艺性能

表面形状	钢筋牌号	公称直径 /mm	冷弯 180°、弯心直径	屈服点 σ_s/MPa	抗拉强度设计值 /MPa
光圆	HPB300	8 ～ 20	$d=a$	≥300	≥300
带肋	HRB335	6 ～ 25	$d=3a$	≥335	≥300
		20 ～ 50	$d=4a$		
	HRB400	6 ～ 25	$d=4a$	≥400	≥360
		20 ～ 50	$d=5a$		
	HRB500	6 ～ 25	$d=6a$	≥500	≥435
		20 ～ 50	$d=7a$		

注：d 为弯心直径，a 为钢筋公称直径。

表 5-7 余热处理钢筋的力学性能和工艺性能

表面形状	钢筋牌号	公称直径 /mm	冷弯 90°	屈服点 σ_s/MPa	抗拉强度设计值 /MPa
月牙肋	RRB400	8 ～ 20	d=3a	≥400	≥360
		28 ～ 40	d=4a		

注：d 为弯心直径，a 为钢筋公称直径。

冷加工钢筋分为冷轧带肋钢筋、冷轧扭钢筋、冷拔螺旋钢筋。冷拉钢筋和冷拔低碳钢丝已经逐步被淘汰，不再使用。

(2) 按化学成分，分为碳素钢筋和普通低合金钢筋。碳素钢筋按含碳量的多少又分为低碳钢（含碳量在 0.25% 以下）、中碳钢（含碳量在 0.25% ～ 0.6% 之间）、高碳钢（含碳量在 0.6% 以上）。含碳量的多少直接影响钢筋的力学性质：含碳量增加，强度和硬度都增大，但塑性和韧性都下降，脆性增加，可焊性差，尤其是高碳钢筋，破坏时无明显征兆而突然断裂，故一般不用于建筑中。普通低合金钢钢筋是在低碳钢和中碳钢中加入某些合金元素（如钛、钒、锰等，其含量一般不超过总量的 3%）冶炼而成，可提高钢筋的强度，改善其塑性、韧性和可焊性。建筑钢材属于普通低合金钢。

(3) 按轧制外形，分为光圆钢筋和变形钢筋。

(4) 按粗细，分为钢丝（直径为 3 ～ 5mm）、细钢筋（直径为 6 ～ 10mm）、中粗钢筋（直径为 12 ～ 20mm）和粗钢筋（直径大于 20mm）。

(5) 按供货方式，分为盘圆钢筋和直条钢筋。

2. 钢筋进场验收

钢筋运到工地时，应有出厂质量证明书或试验报告单，并按品种、批号及直径分批验收，每批重量热轧钢筋不超过 60t，钢绞线为 20t，验收内容包括钢筋标牌和外观检查，并按有关规定取样进行机械性能试验，钢筋的性能包括化学成分及力学性能（如屈服点、抗拉强度、伸长率及冷弯指标）。

1）外观检查

应对钢筋进行全数外观检查。检查内容包括钢筋是否平直、有无损伤，表面是否有裂纹、油污及锈蚀等，弯折过的钢筋不得敲直后作受力钢筋使用，钢筋表面不应有影响钢筋强度和锚固性能的锈蚀或污染。

2）力学性能试验

在力学性能试验时，应从每批的钢筋中任选两根，每根取两个试件分别进行拉伸试验（包括屈服点、抗拉强度和伸长率的测定）和冷弯试验。如有一项试验结果不符合规定，则应从同一批钢筋另取双倍数量的试件重做各项试验，如果仍有一个试件不合格，则该批钢筋为不合格品，应不予验收或降级使用。

3）合格判别

钢筋经各项检验（包括外形尺寸及偏差）均达到标准要求时即为合格。如有某一项检验不合格，可从同批钢筋中再任取双倍数量试样进行不合格项目的复验，复验结果如仍有一个试样不合格，就认为该批不合格。钢筋在加工过程中发现脆断、焊接性能不良或机械性能显著不正常等现象时，应进行化学成分分析或其他专项检验。

3. 钢筋隐蔽工程验收

在浇筑混凝土之前，应进行钢筋隐蔽工程验收，包括如下内容。

(1) 纵向受力钢筋的品种、规格、数量、位置等。

(2) 钢筋的连接方式、接头位置、接头数量、接头面积百分率等。

(3) 箍筋、横向钢筋的品种、规格、数量、间距等。

(4) 预埋件的规格、数量、位置等。

4. 钢筋的堆放

当钢筋运进施工现场后，必须严格按批分等级、牌号、直径、长度挂牌分别堆放，并注明数量，不得混淆。钢筋应尽量堆入仓库或料棚内。条件不具备时，应选择地势较高、土质坚实、较为平坦的露天场地存放。在仓库或场地周围挖排水沟，以利于泄水。堆放时钢筋下面要加垫木，离地不宜少于 200mm，以防钢筋锈蚀和污染（图 5.13)。



图 5.13　钢筋挂牌分类堆放

5.2.2　钢筋加工

钢筋加工包括除锈、调直、下料剪切、弯曲等工作。随着施工技术的发展，钢筋加工已逐步实现机械化和联动化。

1. 钢筋除锈

为了保证钢筋与混凝土之间的握裹力，在钢筋使用前，应清除其表面的油污、铁锈等。钢筋的除锈可采取以下措施：①在钢筋调直过程中除锈，对大量钢筋除锈较为经济；②采用电动除锈机除锈，对钢筋局部除锈较为方便；③采用手工除锈（用钢丝刷、砂盘）、喷沙和酸洗除锈等。

2. 钢筋调直

钢筋调直（图 5.14) 可采用钢筋调直机、数控钢筋调直切断机或卷扬机拉直设备等进行。目前常用的钢筋调直机同时具有钢筋除锈、调直和切断三项功能。

3. 钢筋切断

钢筋切断（图 5.15) 时采用的机具设备有钢筋切断机、手动液压切断器。钢筋切断时应将同规格钢筋根据不同长度长短搭配，统筹排料；一般应先断长料，后断短料，减

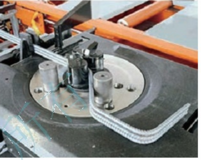
少短头，减少损耗。断料时应避免用短尺量长料，防止在量料中产生累计误差。

4. 钢筋弯曲

钢筋下料后，应按弯曲设备特点及钢筋直径和弯曲角度进行划线，以便弯曲成设计所要求的尺寸。当弯曲形状比较复杂的钢筋时，可先放出实样，再进行弯曲。钢筋弯曲（图 5.16）宜采用弯曲机和弯箍机。


图 5.14　盘圆冷拉调直时的开卷


图 5.15　钢筋调直切断机


图 5.16　钢筋的弯曲

5.2.3　钢筋连接

目前钢筋的连接方法有焊接连接、机械连接和绑扎连接三类。焊接连接和绑扎连接是传统的钢筋连接方法。与绑扎连接相比，焊接连接可节约钢材、改善结构受力性能、提高工效、降低成本，目前对直径大于 28mm 的受拉钢筋和直径大于 32mm 的受压钢筋已不推荐采用绑扎连接，而采用焊接连接或机械连接。机械连接由于其具有连接可靠、作业不受气候影响、连接速度快等优点，目前已广泛应用于粗钢筋的连接。

1. 钢筋焊接

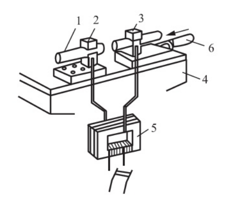
焊接连接与机械连接相比最大的优点是接头成本低。但焊接是一项专门技术，要求对焊工进行专门培训，持证上岗；其施工受气候、电流稳定性的影响；接头质量不如机械连接可靠。钢筋的焊接质量与钢材的可焊性、焊接工艺有关。可焊性与钢材的含碳量、合金元素的含量有关，含碳、锰数量增加，则可焊性差；而含适量的钛，可改善可焊性。焊接工艺（焊接参数与操作水平）也影响焊接质量，即使可焊性差的钢材，若焊接工艺合宜，也可获得良好的焊接质量。

钢筋焊常用的焊接方式有闪光对焊、电渣压力焊、电弧焊和电阻点焊。此外，还有气压焊、埋弧压力焊等。

1）闪光对焊

钢筋闪光对焊是将两根钢筋安放成对接形式，利用焊接电流通过两根钢筋接触点产生的电阻热，使接触点金属熔化，产生强烈飞溅，形成闪光，迅速施加顶锻力完成的一种压焊方法（图 5.17）。

闪光对焊是钢筋接头焊接中操作工艺简单、效率高、施工速度快、质量好、成本低的一种焊接方法。闪光对焊广泛用于钢筋的纵向连接。



(a) 钢筋闪光对焊原理图



(b) 实景图

1—钢筋；2—固定电极；3—可动电极；4—基座；5—变压器；6—手动顶压机构

图 5.17　钢筋闪光对焊原理图和实景图

(1) 对焊工艺。钢筋闪光对焊工艺常用的有连续闪光焊、预热闪光焊和闪光—预热—闪光焊三种工艺，应根据钢筋品种、直径和所用焊机功率大小等选用。对可焊性差的钢筋（如 45SiMnV 钢筋），焊后尚应通电处理，以消除热影响区内的淬硬组织。钢筋闪光对焊的适用范围及工艺过程见表 5-8。

表 5-8　钢筋闪光对焊的适用范围及工艺过程

工艺名称	工艺过程	适用范围	工艺过程
连续闪光焊	连续闪光、顶锻	一般用于焊接直径在 22mm 以内的 HPB300、HRB335、HRB400 和 RRB400 级钢筋和直径在 16mm 以内的 HRB500 级钢筋。不同直径钢筋焊接时，截面比不宜超过 1.5	(1) 先闭合一次电路，使两钢筋端面轻微接触。由于钢筋端部不平，接触点很快熔化并产生金属蒸气飞溅，形成闪光现象。徐徐移动钢筋，便形成连续闪光过程 (2) 当闪光达到预定程度（接头烧平、闪去杂质和氧化膜、白热熔化时），随即施加轴向压力迅速进行顶锻，使两根钢筋焊牢
预热闪光焊	预热、连续闪光、顶锻	适于钢筋端面较平整，且直径在 16 ～ 32mm 的 HRB335，HRB400 和 RRB400 级钢筋及直径为 12 ～ 28mm 的 HRB500 级钢筋	(1) 在连续闪光焊前增加一次预热过程，以扩大焊接热影响区 (2) 施焊时，先闭合电源，然后使钢筋端面交替地接触和分开，这时钢筋端面的间隙即发出断续的闪光，形成预热过程 (3) 当钢筋达到预热温度后，随后顶锻而成
闪光—预热—闪光焊	一次闪光、预热、二次闪光、顶锻	适于端面不平整，且直径 25mm 以上的钢筋	(1) 一次闪光：将不平整的钢筋端部烧化平整，使预热均匀 (2) 施焊时，使钢筋端部闪平，然后同预热闪光焊
通电热处理	闪光—预热—闪光，通电热处理	适用于 RRB500 级钢筋	(1) 焊毕稍冷却后松开电极，将电极钳口调至最大距离，重新夹住钢筋 (2) 待接头冷至暗黑色（焊后 20 ～ 30s），进行脉冲式通电热处理（频率约为 2 次 /s，通电 5 ～ 7s） (3) 待钢筋表面呈橘红色并有微小氧化斑点出现时即可

(2) 工艺参数。为获得良好的对焊接头，应选择恰当的焊接参数。连续闪光焊的焊接参数包括调伸长度、烧化留量、闪光速度、顶锻留量、顶锻速度、顶锻压力及变压器级数等。

(3) 对焊接头质量检验。

①取样数量。

a. 钢筋闪光对焊接头的外观检查，每批抽查 10% 的接头，且不得少于 10 个。

b. 钢筋闪光对焊接头的力学性能试验包括拉伸试验和弯曲试验，应从每批成品中切取 6 个试件，3 个进行拉伸试验，3 个进行弯曲试验。在同一台班内，由同一焊工，按同一焊接参数完成的 300 个同类型接头作为一批。一周内连续焊接时，可以累计计算。一周内累计不足 300 个接头时，也按一批计算。

②外观检查。钢筋闪光对焊接头的外观检查，应符合下列要求。

a. 接头处不得有横向裂纹。

b. 与电极接触处的钢筋表面，不得有明显的烧伤。

c. 接头处的弯折，不得大于 4°。

d. 接头处的钢筋轴线偏移量不得大于钢筋直径的 0.1 倍，且不得大于 2mm；当有一个接头不符合要求时，应对全部接头进行检查，剔出不合格接头，切除热影响区后重新焊接。

③拉伸试验。进行钢筋对焊接头拉伸试验时，应符合下列要求。

a. 三个试件的抗拉强度均不得低于该级别钢筋的抗拉强度标准值。

b. 至少有两个试样断于焊缝之外，并呈塑性断裂。

当检验结果有一个试件的抗拉强度低于规定指标，或有两个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时，应取双倍数量的试件进行复验。复验结果中若仍有一个试件的抗拉强度低于规定指标，或有三个试件呈脆性断裂，则该批接头即为不合格品。

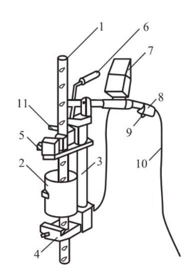
(4) 弯曲试验。钢筋闪光对焊接头弯曲试验时，应将受压面的金属毛刺和镦粗变形部分去掉，与母材的外表齐平。弯曲试验可在万能试验机、手动或电动液压弯曲机上进行。弯曲至 90° 时，至少有 2 个试件不得发生破断。

当试验结果中有 2 个试件发生破断时，应再取 6 个试件进行复验。复验结果中若仍有 3 个试件发生破断，应确认该批接头为不合格品。

2) 电渣压力焊

电渣压力焊是利用电流通过渣池产生的电阻热将钢筋端部熔化，然后施加压力使钢筋焊合（图 5.18）。主要用于现浇结构中直径差在 9mm 以内、直径为 14 ～ 40mm 的竖向或斜向（倾斜度在 4:1 内）钢筋的接长。电渣压力焊操作简单、工作条件好、功效高、成本低，比电弧焊接头节约 80% 以上，比绑扎连接和帮条焊接节约钢筋约 30%，提高工效 6 ～ 10 倍。

(1) 焊接设备。电渣压力焊的主要设备是竖向钢筋电渣压力焊机，按控制方式分为手动式钢筋电渣压力焊机、半自动式钢筋电渣压力焊机和全自动式钢筋电渣压力焊机。钢筋电渣压力焊机主要由焊接电源、控制箱、焊接夹具、焊剂盒等几部分组成。



(a) 电渣压力焊原理图



(b) HD-75电渣压力焊机实物图

1—钢筋；2—焊剂盒；3—单导柱；4—固定夹头；5—活动夹头；6—手柄；
7—监控仪表；8—操作把；9—开关；10—控制电缆；11—电缆插座

图 5.18　电渣压力焊原理图和 HD-75 电渣压力焊机实物图

焊接电源可采用 BX_3-500 型与 BX_2-1000 型交流弧焊机，也可采用 JSD-600 型与 JSD-1000 型专用电源。焊机容量应根据所焊钢筋直径选定。

焊剂盒由两半圆形铁皮组成，内径为 80 ～ 100mm，与所焊钢筋的直径相适应。焊剂宜采用 431 型，含有高锰、高硅与低氟成分，其作用除起隔绝、保温及稳定电弧作用外，在焊接过程中还起补充熔渣、脱氧及添加合金元素作用。

焊接夹具应具有刚度，在最大允许荷载下应移动灵活，操作便利。焊剂筒的直径应与所焊钢筋直径相适应，电压表、时间显示器应配备齐全。

(2) 焊接工艺。电渣压力焊的工艺过程包括引弧、电弧、电渣和顶压过程。

①引弧过程。宜采用铁丝圈引弧法，也可采用直接引弧法。

铁丝圈引弧法是将铁丝圈放在上、下钢筋端头之间，高约 10mm，电流通过铁丝圈与上、下钢筋端面的接触点形成短路引弧。

直接引弧法是在通电后迅速将上钢筋提起，使两端头之间的距离为 2 ～ 4mm，引弧。当钢筋端头夹杂不导电物质或过于平滑造成引弧困难时，可以多次把上钢筋移下与下钢筋短接后再提起，达到引弧目的。

②电弧过程。靠电弧的高温作用，将钢筋端头的凸出部分不断烧化；同时将接口周围的焊剂充分熔化，形成一定深度的渣池。

③电渣过程。渣池形成一定深度后，将上钢筋缓缓插入渣池中，此时电弧熄灭，进入电渣过程。由于电流直接通过渣池，产生大量的电阻热，使渣池温度升到近 2000℃，将钢筋端头迅速而均匀地熔化。

④顶压过程。当钢筋端头达到全截面熔化时，迅速将上钢筋向下顶压，将熔化的金属、熔渣及氧化物等杂质全部挤出结合面，同时切断电源，焊接即告结束。

接头焊毕，应停歇后，方可回收焊剂和卸下焊接夹具，并敲去渣壳；四周焊包应均匀，

凸出钢筋表面的高度应大于或等于 4mm。

(3) 焊接参数。电渣压力焊的工艺参数为焊接电流、焊接电压、通电时间、钢筋熔化量等。电渣压力焊的工艺参数应根据钢筋直径选择，钢筋直径不同时，根据较小直径的钢筋选择参数。

(4) 电渣压力焊接头质量检验（图 5.19）。




(a) 合格的电渣压力焊接头



(b) 不合格的电渣压力焊接头

图 5.19 合格的电渣压力焊接头和不合格的电渣压力焊接头

①取样数量。电渣压力焊接头应逐个进行外观检查。当进行力学性能试验时，应从每批接头中随机切取 3 个试件做拉伸试验，且应按下列规定抽取试件。

a. 在一般构筑物中，应以 300 个同级别钢筋接头作为一批。

b. 在现浇钢筋混凝土多层结构中，应以每一楼层或施工区段中 300 个同级别钢筋接头作为一批，不足 300 个接头仍应作为一批。

②外观检查。电渣压力焊接头外观检查结果应符合下列要求。

a. 四周焊包凸出钢筋表面的高度应大于或等于 4mm。

b. 钢筋与电极接触处，应无烧伤缺陷。

c. 接头处的弯折角不得大于 4°。

d. 接头处的轴线偏移不得大于钢筋直径的 0.1 倍，且不得大于 2mm。外观检查不合格的接头应切除重焊，或采用补强焊接措施。

③拉伸试验。电渣压力焊接头拉伸试验结果中，3 个试件的抗拉强度均不得小于该级别钢筋规定的抗拉强度。当试验结果中有 1 个试件的抗拉强度低于规定值，应再取 6 个试件进行复验。复验结果中，当仍有 1 个试件的抗拉强度小于规定值，应确认该批接头为不合格品。

3) 电弧焊

(1) 电弧焊及应用。电弧焊是利用电弧焊机（图 5.20）使焊条与焊件之间产生高温电弧，使焊条和电弧燃烧范围内的焊件熔化，待其凝固后便形成焊绕或接头。电弧焊应用较广，可用于钢筋的接长、钢筋与钢板的焊接等。

电弧焊焊接设备简单，价格低廉，维护方便，操作技术要求不高，可广泛用于钢筋接头、钢筋骨架焊接、装配式骨架接头的焊接、钢筋与钢板的焊接及各种钢结构的焊接。

电弧焊的主要设备为电弧焊机，分为交流、直流两类。交流电弧焊机结构简单，价

格低廉，保养、维修方便；直流弧焊机焊接电流稳定，焊接质量高，但价格昂贵。

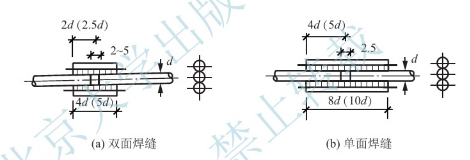



(a) ZX7 系列直流电弧焊机　(b) DN2-5 交流弧焊机　(c) BX1-315 交流弧焊机

图 5.20　常见电弧焊机

(2) 电弧焊接头形式。电弧焊焊接接头形式分为帮条焊、搭接焊和坡口焊，后者又分为平焊和立焊。

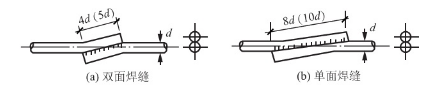
①帮条接头。适用于直径 10 ～ 40mm 的 HPB300、HRB335、HRB400 和 HRB500 级钢筋连接。搭接长度 HPB300 级钢筋取图 5.21 中括号外数值，其余钢筋取括号内数值。主筋端面间的间隙应为 2 ～ 5mm，帮条和主筋间用四点对称定位焊加以固定。帮条钢筋宜与被连接主筋同级别、同直径。定位焊缝与帮条端部的距离应大于或等于 20mm。焊缝厚度不应小于主筋直径的 0.3 倍和 4mm，焊缝宽度不应小于主筋直径的 0.7 倍和 10mm。接头形式如图 5.21 所示。



(a) 双面焊缝　(b) 单面焊缝

图 5.21　帮条接头

②搭接接头。适用于直径 10 ～ 40mm 的 HPB300、HRB33 级钢筋连接，搭接长度分别取图 5.22 中括号外和括号内数值。焊接时先将主钢筋的端部按搭接长度预弯，应使两钢筋的轴线在一直线上，并采用两端点焊定位，焊缝宜采用双面焊，当双面施焊有困难时，也可采用单面焊。定位焊缝与搭接端部的距离应大于或等于 20mm。焊缝厚度不应小于主筋直径的 0.3 倍和 4mm，焊缝宽度不应小于主筋直径的 0.7 倍和 10mm。接头形式如图 5.22 所示。

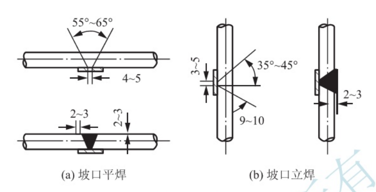


(a) 双面焊缝　(b) 单面焊缝

图 5.22　搭接接头

③坡口（剖口）接头。坡口接头较帮条接头和搭接接头节约钢材。适用于直径 10 ～ 40mm 的 HPB300、HRB335、HRB400 和 HRB500 级钢筋连接。有平焊和立焊两

种。当焊接 HRB500 级钢筋时，应先将焊件加温。钢垫板厚度宜为 4 ～ 6mm，长度为 40 ～ 60mm。坡口平焊时，垫板宽度应为钢筋直径加 10mm；立焊时，垫板宽度宜等于钢筋直径。接头形式如图 5.23 所示。

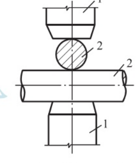


(a) 坡口平焊　　(b) 坡口立焊

图 5.23　坡口接头

4）钢筋电阻点焊

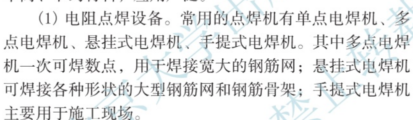
钢筋电阻点焊是将两根钢筋安放成交叉叠接形式，压紧于两电极之间，利用电阻热熔化母材金属，加压形成焊点的一种压焊方法（图 5.24）。



1—电极；2—钢筋

图 5.24　钢筋电阻点焊

电阻点焊主要用于钢筋的交叉连接，如用来焊接钢筋网片、钢筋骨架等，特别适于预制厂大量使用。它生产效率高、节约材料，应用广泛。



(1) 电阻点焊设备。常用的点焊机有单点电焊机、多点电焊机、悬挂式电焊机、手提式电焊机。其中多点电焊机一次可焊数点，用于焊接宽大的钢筋网；悬挂式电焊机可焊接各种形状的大型钢筋网和钢筋骨架；手提式电焊机主要用于施工现场。

(2) 点焊工艺。点焊过程可分为预压、通电、锻压三个阶段。在通电开始一段时间内，接触点扩大，固态金属因加热膨胀，在焊接压力作用下，焊接处金属产生塑性变形，并挤向工件间隙缝中；继续加热后，开始出现熔化点，并逐渐扩大成所要求的核心尺寸时切断电流。

焊点应有一定的压入深度。点焊热轧钢筋时，压入深度为较小钢筋直径的 25% ～ 45%；点焊冷拔低碳钢丝或冷轧带肋钢筋时，压入深度为较小钢（筋）丝直径的 25% ～ 40%。

(3) 电阻点焊参数。电阻点焊的工艺参数包括变压器级数、通电时间和电极压力。通电时间根据钢筋直径和变压器级数而定，电极压力则根据钢筋级别和直径选择。

2. 机械连接

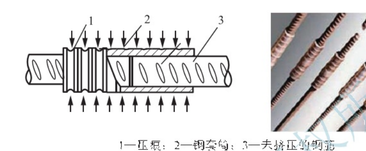
20 世纪 80 年代，钢筋机械连接在我国开始应用，到 90 年代机械连接技术发展迅猛，技术达到了国际先进水平，目前已形成规模化和产业化。钢筋机械连接相继出现了套筒挤压连接、锥螺纹套筒连接、直螺纹套筒连接、活塞式组合带肋钢筋连接等技术。在粗直径钢筋连接中，钢筋机械连接方法有广阔的发展前景。机械连接接头质量稳定可靠，不受钢筋化学成分的影响，人为因素的影响小；操作简便，施工速度快，且不受气候条



件影响；无污染、无火灾隐患，施工安全。

1）套筒挤压连接

套筒挤压连接是将需连接的变形钢筋插入特制的钢套筒内，利用液压驱动的挤压机进行径向挤压，使钢套筒产生塑性变形，依靠变形后的钢套筒与被连接钢筋纵、横肋产生的机械咬合成为整体的钢筋连接方法，如图 5.25 所示。与焊接相比，这种连接方法具有接头性能可靠、质量稳定、不受气候影响、无明火、施工简便、节能等优点。适用于直径为 16 ～ 40mm 带肋钢筋的连接，所连接的两根钢筋的直径之差不宜大于 5mm。



1—压痕；2—钢套筒；3—未挤压的钢筋

图 5.25　钢筋套筒挤压连接和接头试件

(1) 套筒挤压连接设备。钢筋套筒径向挤压设备主要由超高压油泵、挤压机、压接钳、超高压软管等组成。

(2) 套筒挤压连接施工。施工时，先清理钢筋端头的锈、泥沙、油污等杂物；钢筋与套筒进行试套；钢筋端部应划出定位标记与检查标记；检查挤压设备情况，并进行试压，选择合适材质和规格的钢套筒及压接设备，确定工艺参数，包括挤压变形，挤压变形包括压痕最小直径和压痕总宽度。挤压作业时，钢筋挤压连接宜先挤压一端套筒，插入待接钢筋后再挤压另一端套筒；压力钳就位时，应对正钢套筒压痕位置的标记，并应与钢筋轴线保持垂直；压接钳施压应由钢套筒中部顺序向端部进行；每次施压时，主要控制压痕深度。

(3) 套筒挤压连接质量检验。工程中应用钢筋套筒挤压接头时，应由技术提供单位提交有效的型式检验报告和套筒出厂合格证。钢筋套筒挤压接头现场检验，一般只进行接头外观检查和单向拉伸试验。

①取样数量。同批条件为材料、等级、型式、规格、施工条件相同。批的数量为 500 个接头，不足此数时也作为一个验收批。对每一验收批，应随机抽取 10% 的挤压接头做外观检查；抽取 3 个试件做单向拉伸试验。在现场检验合格的基础上，连续 10 个验收批单向拉伸试验合格率为 100% 时，可以扩大验收批所代表的接头数量一倍。

②外观检查。挤压接头的外观检查，应符合下列要求。

a. 挤压后套筒长度应为 1.10 ～ 1.15 倍原套筒长度，或压痕处套筒外径为 0.8 ～ 0.9 倍原套筒外径。

b. 挤压接头的压痕道数应符合型式检验确定的道数。

c. 接头处弯折不得大于 4°。

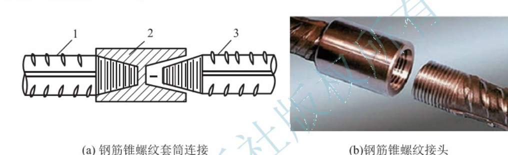
d. 挤压后的套筒不得有肉眼可见的裂缝。如外观质量合格数大于等于抽检数的 90%，则该批为合格。如不合格数超过抽检数的 10%，则应逐个进行复验。在外观不合

格的接头中抽取 6 个试件做单向拉伸试验再判别。

③单向拉伸试验。3 个接头试件的抗拉强度均应满足钢筋机械连接通用技术规程中 A 级或 B 级抗拉强度的要求。如有一个试件的抗拉强度不符合要求，则加倍抽样复验。复验中如仍有一个试件检验结果不符合要求，则该验收批单向拉伸试验判为不合格。

2）钢筋锥螺纹套管连接

把钢筋的连接端加工成锥形螺纹（简称丝头），然后用带锥形内丝的钢套筒将钢筋两端拧紧的连接方法，如图 5.26 所示。该方法具有接头可靠、操作简单、质量稳定、不受气候影响、对中性好、施工速度快等优点。接头的价格适中（低于挤压套筒接头，高于电渣压力焊和气压焊接头），适用于直径 16 ～ 40mm 的各种钢筋的连接，所连接钢筋的直径之差不宜大于 9mm。



(a) 钢筋锥螺纹套筒连接　　(b)钢筋锥螺纹接头

1—已连接的钢筋；2—锥螺纹套筒；3—未连接的钢筋

图 5.26　钢筋锥螺纹套筒连接和钢筋锥螺纹接头

(1) 钢筋锥螺纹套管连接设备。钢筋锥螺纹套筒连接机具设备包括钢筋套丝机、扭力扳手、量规等。钢筋套丝机是加工钢筋连接端的锥形螺纹用的一种专用设备，可套制直径为 16 ～ 40mm 的钢筋。扭力扳手是保证钢筋连接质量的测力扳手，它可以按照钢筋直径大小规定的力矩值，把钢筋与连接套筒拧紧，并发出声响信号。量规包括牙形规、卡规和锥螺纹塞规。牙形规是用来检查钢筋连接端的锥螺纹牙形加工质量的量规。卡规是用来检查钢筋连接端的锥螺纹小端直径的量规。锥螺纹塞规是用来检查锥螺纹连接套筒加工质量的量规。

(2) 钢筋锥螺纹套管连接施工。连接钢筋前，将钢筋末拧套筒一端的塑料保护帽拧下来露出螺纹，并将螺纹上的污物清理干净。钢筋规格和连接套的规格应一致，并确保钢筋和连接套的螺纹干净完好无损。将已拧套筒的钢筋拧到被连接的钢筋上，并用扭力扳手按规定的力矩值把钢筋接头拧紧，扭力扳手在调定的力矩值发出响声，并画上标记，以防有的钢筋接头漏拧。力矩扳手应每半年标定一次。

(3) 钢筋锥螺纹套管连接质量检验。

①连接钢筋时，应检查连接套筒出厂合格证、钢筋锥螺纹加工检验记录。

②钢筋连接工程开始前及施工过程中，应对每批进场钢筋和接头进行工艺检验。

a. 随机抽取同规格接头数的 10% 进行外观检查。应满足钢筋与连接套的规格一致，接头螺纹无完整螺纹外露。

b. 接头的现场检验按验收批进行。同一施工条件下的同一批材料的同等级、同规格接头，以 500 个为一个验收批进行检验与验收，不足 500 个也作为一个验收批。

③用质检的力矩扳手，按规定的接头拧紧值抽检接头的连接质量。对查出的不合格接头应采用电弧贴角焊缝方法补强，焊缝高度不得小于 5mm。

3）直螺纹套筒连接

直螺纹套筒连接是将两根待接钢筋端头切削或滚压出直螺纹，再用带直螺纹的钢套筒将钢筋两端拧紧的连接方法。该方法综合了套筒挤压连接和锥螺纹连接的优点，具有接头强度高、质量稳定、不用电源、对中性好、施工方便、施工速度快等优点，是目前工程应用最广泛的粗钢筋连接方法，适用于直径 16 ～ 40mm 的各种钢筋的连接。

直螺纹套筒连接按螺纹加工工艺不同，可分为钢筋镦粗直螺纹套筒连接和钢筋滚压直螺纹套筒连接等。

（1）钢筋镦粗直螺纹套筒连接。它是先将钢筋端头镦粗，再切削成直螺纹，然后用带直螺纹的套筒将钢筋两端拧紧的钢筋连接方法。施工设备包括钢筋液压冷镦机、钢筋直螺纹套丝机、扭力扳手、量规等。镦粗直螺纹钢筋接头的特点为：钢筋端部经冷镦后不仅直径增大，使套丝后螺纹底部横截面积不小于钢筋原截面积，而且由于冷镦后钢材强度的提高，致使接头部位有很高的强度。这种接头的螺纹精度高，接头质量稳定性好，操作简便，连接速度快，价格适中。

（2）钢筋滚压直螺纹套筒连接。它是利用金属材料塑性变形后冷作硬化增强金属材料强度的特性，使接头与母材等强的连接方法。根据滚压直螺纹成型方式，又可分为直接滚压螺纹、挤压肋滚压螺纹、剥肋滚压螺纹等类型。

3. 钢筋绑扎连接

钢筋绑扎（图 5.27）一般采用 20 ～ 22 号铁丝，要求绑扎位置准确、牢固；在同一截面内，绑扎接头的钢筋面积在受压区中不得超过 50%，在受拉区中不得超过 25%；不在同一截面中的绑扎接头，中距不得小于搭接长度。



图 5.27 柱钢筋绑扎连接

墙的钢筋网、基础钢筋网绑扎时，四周两行钢筋交叉点应每点扎牢，单向主筋中间部分交叉点可相隔交错扎牢；双向主筋的钢筋网，则须将全部钢筋相交点扎牢。墙、板采用双层钢筋网时，在两层钢筋间应设置撑铁，以固定钢筋间距。撑铁可用直径 6 ～ 10mm 的钢筋制成，长度等于两层网片的净距，间距约为 1m，相互错开排列。柱中的竖向钢筋搭接时，角部钢筋的弯钩应与模板成 45°；箍筋的接头（弯钩叠合处）应交错布置在四角纵向钢筋上；箍筋转角与纵向钢筋交叉点均应扎牢（箍筋平直部分与纵向钢筋交叉点

可间隔扎牢），绑扎箍筋时绑扣相互间应成八字形。板、次梁与主梁交叉处，板的钢筋在上，次梁的钢筋居中，主梁的钢筋在下；当有圈梁或垫梁时，主梁的钢筋在上。

钢筋在混凝土中保护层的厚度，可用水泥砂浆垫块（或塑料卡），垫在钢筋与模板之间进行控制。垫块应布置成梅花形，其相互间距不大于 1m。

钢筋安装完毕后，应根据设计图样检查钢筋的钢号、直径、根数、间距是否正确，特别要注意负筋的位置；同时检查钢筋接头的位置、搭接长度及混凝土保护层是否符合要求，钢筋绑扎是否牢固，有无松动、变形现象，钢筋表面是否有不允许的油渍、漆污和颗粒状（片状）铁锈等，钢筋位置的偏差是否符合规范规定。

5.2.4 钢筋的配料与代换

1. 钢筋配料

钢筋配料是根据构件配筋详图，将构件中各个编号的钢筋，分别计算出钢筋切断时的直线长度（简称为下料长度），统计出每个构件中每一种规格的钢筋数量，以及该项目中各种规格的钢筋总数量，填写配料单，以便进行钢筋的备料和加工。

1）计算钢筋下料长度

由于结构施工图中注明的尺寸是钢筋的外轮廓尺寸（从钢筋外皮到外皮的尺寸），称为钢筋的外包尺寸，它与钢筋下料加工前的直线长度是不同的。钢筋的弯曲或弯钩会使其长度变化，钢筋弯曲时，其外壁伸长，内壁缩短，而中心线长度不改变，外包尺寸与中心线长度之间存在一个差值，称为“量度差值”。因此，各种钢筋下料长度计算如下。

直钢筋下料长度 = 构件长度 − 保护层厚度 + 弯钩增加长度

弯起钢筋下料长度 = 直段长度 + 斜段长度 − 弯曲调整值 + 弯钩增加长度

箍筋下料长度 = 箍筋周长 + 箍筋调整值

上述钢筋需要搭接的话，还应增加钢筋搭接长度。

2）弯曲调整值

钢筋弯曲后的外包尺寸与其下料前的直线长度（轴线长度）之间存在一个差值，称量度差值，即弯曲调整值。弯曲调整值列于表 5-9 中。

表 5-9 钢筋弯曲调整值

钢筋弯曲角度	30°	45°	60°	90°	135°
钢筋弯曲调整值	$0.3d$	$0.5d$	$0.9d$	$2d$	$2.5d$

注：d 为钢筋直径。

3）弯钩增加长度

钢筋的弯钩形式有三种：半圆弯钩、直弯钩及斜弯钩。半圆弯钩是光圆钢筋最常用的一种弯钩。直弯钩只用在柱钢筋的下部、箍筋和附加钢筋中。斜弯钩只用在直径较小的钢筋中。如图 5.28 所示，弯钩增加长度为：半圆弯钩为 $6.25d$，直弯钩为 $3.5d$，斜弯钩为 $4.9d$。

在生产实践中，由于实际弯心直径与理论弯心直径有时不一致，钢筋粗细和机具条

件不同等而影响平直部分的长短，手工弯钩时平直部分可适当加长，机械弯钩时可适当缩短，因此在实际配料计算时，对弯钩增加长度常根据具体条件采用经验数据。

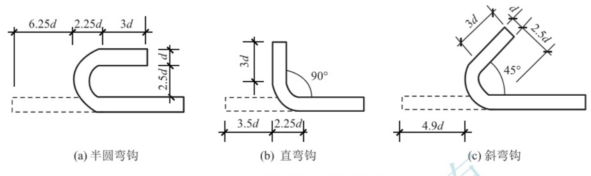


图 5.28　钢筋弯钩形式及计算简图

4) 箍筋调整值

箍筋调整值，即为弯钩增加长度和弯曲调整值两项之差或之和，根据箍筋量外包尺寸或内皮尺寸确定调整值，如图 5.29 与表 5-10 所示。

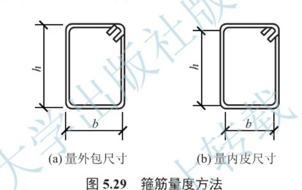


图 5.29　箍筋量度方法

表 5-10　箍筋调整值

箍筋量度方法	箍筋直径 /mm			
	4 ～ 5	6	8	10 ～ 12
量外包尺寸	40	50	60	70
量内皮尺寸	80	100	120	150 ～ 170

2. 编制钢筋配料单、制作钢筋料牌

根据下料长度的计算结果，汇总编制钢筋配料单。钢筋配料单内容包括工程名称、构件名称、钢筋编号、钢筋简图及尺寸、钢筋直径、钢号、数量、下料长度及钢筋重量等。将每一编号的钢筋制作一块料牌，作为钢筋加工的依据与钢筋安装的标志。钢筋配料单和料牌应严格校核，必须准确无误，以免返工浪费。

【例 5-1】某现浇混凝土梁的结构施工图如图 5.30 所示，试计算每根钢筋的下料长度。

混凝土保护层的厚度为 25mm，混凝土的锚固长度取 20d，钢筋的单位长度重量为 0.00617d^2(d 为钢筋的直径)，箍筋 135°，伸长值取 11d。

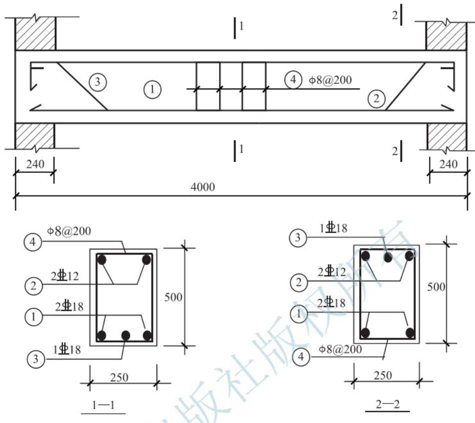


图 5.30 现浇混凝土梁结构施工图

解：钢筋的下料长度 = 构件长度 − 两端保护层厚度 − 量度差值之和 + 弯钩增长值之和

①号筋为 2 根Φ 18 的直钢筋

$$4000-25\times2=3950\,(\text{mm})$$

②号筋为 2 根Φ 12 的架立筋

$$4000-25\times2+2\times6.25\times12=4100\,(\text{mm})$$

③号筋为 1 根Φ 18 的弯起钢筋，弯起终点外的锚固长度

$$L_E=20d=20\times18=360\,(\text{mm})$$

因此，弯起钢筋端头需向下弯

$$360-(240-25)=145\,(\text{mm})$$

③号筋下料长度

$$145\times2+215\times2+(500-25\times2)\times1.414\times2+2620-4\times0.5\times18-2\times2\times18=4504\,(\text{mm})$$

④号筋为 ϕ8 的箍筋

根数

$$n=\frac{L}{@}+1=\frac{3900}{200}+1=21\text{（根）}$$

下料长度为

$$(250-2\times25+500-2\times25)\times2+11\times8\times2-(2\times8\times3+2.5\times8\times2)=1388\,(\text{mm})$$

钢筋配料单见表 5-11。

表 5-11　钢筋配料单

构件名称	钢筋编号	简图	直径/mm	下料长度/mm	单位根数	重量/kg
L 梁	①	3950	18	3950	2	15.79
	②	3950	12	4100	2	7.29
	③	145 215 636 45° 2620 636 215 145	18	4504	1	9
	④	200 450	8	1388	21	11.09

3. 钢筋代换

在施工中如遇到有钢筋品种或规格与设计要求不符时，应经设计单位同意，并办理技术核定手续后方能进行钢筋代换。代换方法有等强代换方法和等面积代换两种。

1）等强代换方法

当不同等级品种的钢筋进行代换，构件受强度控制时，钢筋可按强度相等原则进行代换，即只要代换钢筋的承载能力值和原设计钢筋的承载能力值相等，就可以代换。

代换后的钢筋根数可用下式计算：

$$n_2 \geqslant \frac{n_1 d_1^2 f_{y1}}{d_2^2 f_{y2}} \tag{5-3}$$

式中　n_2——代换钢筋根数；

n_1——原设计钢筋根数；

d_2——代换钢筋直径；

d_1——原设计钢筋直径；

f_{y2}——代换钢筋抗拉强度设计值；

f_{y1}——原设计钢筋抗拉强度设计值。

2）等面积代换

当构件按最小配筋率配筋时，钢筋应按面积相等原则进行代换。用下面公式计算：

$$n_2 \geqslant \frac{n_1 d_1^2}{d_2^2} \tag{5-4}$$

式中符号意义同上。

钢筋代换时，必须充分了解设计意图和代换材料性能，并严格遵守现行混凝土结构设计规范的各项规定；凡重要结构中的钢筋代换，应征得设计单位同意。钢筋代换应注

意以下事项。

(1) 对某些重要构件，如吊车梁、薄腹梁、桁架下弦等，不宜用 HPB300 级光圆钢筋代替 HRB335 和 HRB400 级带肋钢筋。

(2) 钢筋代换后，应满足配筋构造规定，如钢筋的最小直径、间距、根数、锚固长度等。

(3) 同一截面内，可同时配有不同种类和直径的代换钢筋，但每根钢筋的拉力差不应过大（如同品种钢筋的直径差值一般不大于 5mm)，以免构件受力不匀。

(4) 梁的纵向受力钢筋与弯起钢筋应分别代换，以保证正截面与斜截面强度。

(5) 偏心受压构件（如框架柱、有吊车厂房柱、桁架上弦等）或偏心受拉构件做钢筋代换时，不取整个截面配筋量计算，应按受力面（受压或受拉）分别代换。

(6) 当构件受裂缝宽度控制时，如以小直径钢筋代换大直径钢筋，强度等级低的钢筋代替强度等级高的钢筋，则可不做裂缝宽度验算。

5.3 混凝土工程

5.3.1 混凝土的制备

1. 混凝土的原材料

1) 水泥

水泥的品种和成分不同，其凝结时间、早期强度、水化热和吸水性等性能也不相同，应按适用范围选用。

(1) 在普通气候环境或干燥环境下的混凝土、严寒地区的露天混凝土应优先选用普通硅酸盐水泥。

(2) 高强混凝土（大于 C40）、要求快硬的混凝土、有耐磨要求的混凝土应优先选用硅酸盐水泥。

(3) 高温环境或水下混凝土应优先选用矿渣硅酸盐水泥；厚大体积的混凝土应优先选用粉煤灰硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥。

(4) 有抗渗要求的混凝土应优先选用普通硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥。

(5) 有耐磨要求的混凝土应优先选用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥。

2) 砂

混凝土用砂以细度模数为 2.5 ～ 3.5 的中粗砂最为合适；当混凝土强度等级不低于 C30 时（或有抗冻、抗渗要求），含泥量不大于 3%；当混凝土强度等级低于 C30 时，含泥量不大于 5%。

3) 石子

常用石子有卵石和碎石。卵石混凝土水泥用量少，强度偏低；碎石混凝土水泥用量大，强度较高。

(1) 石子的级配。石子的级配越好，其空隙率及总表面积越小，不仅节约水泥，混凝土的和易性、密实性和强度也较高。碎石和卵石的颗粒级配应优先采用连续级配。

(2) 石子的含泥量。混凝土强度等级不低于 C30 时，含泥量不大于 1.0%；混凝土强度等级低于 C30 时，含泥量不大于 2.0%（泥块含量按重量计）。

(3) 石子的最大粒径。在级配合适的情况下，石子的粒径越大，对节约水泥、提高混凝土强度和密实性都有好处。但由于结构断面、钢筋间距及施工条件的限制，石子的最大粒径不得超过结构截面最小尺寸的 1/4，且不超过钢筋最小净距的 3/4；对混凝土实心板不超过板厚的 1/3，且最大不超过 40mm（机拌）；任何情况下石子的最大粒径机械拌制不超过 150mm，人工拌制不超过 80mm。

4) 水

饮用水都可用来拌制和养护混凝土，污水、工艺废水不得用于混凝土中。海水不得用来拌制配筋结构的混凝土。

5) 外加剂

为改善混凝土的性能，提高其经济效果，以适应新结构、新技术的需要，外加剂已经成为混凝土的第五组分，主要的外加剂有以下几种。

(1) 减水剂。一种表面活性材料，能显著减少拌和用水量，降低水灰比，改善和易性，增加流动性，节约水泥，有利于混凝土强度的增长及物理性能的改善，尤其适合大体积混凝土、防水混凝土、泵送混凝土等。

(2) 早强剂。加速混凝土的硬化过程，提高早期强度，加快工程进度。三乙醇胺及其复合早强剂的应用较为普遍。有的早强剂（氯盐）对钢筋有锈蚀作用，在配筋结构中使用时其掺量不大于水泥重量的 1%，并禁止用于预应力结构和大体积混凝土。

(3) 速凝剂。加速水泥的凝结硬化作用，用于快速施工、堵漏、喷射混凝土等。

(4) 缓凝剂。延长混凝土从塑性状态转化到固体状态所需的时间，并对后期强度无影响。主要用于大体积混凝土、气候炎热地区的混凝土工程和长距离输送的混凝土。

(5) 膨胀剂。使混凝土在水化过程中产生一定的体积膨胀。膨胀剂可配制补偿收缩混凝土、填充用膨胀混凝土、自应力混凝土。

(6) 防水剂。配制防水混凝土的方法之一。用水玻璃配制的混凝土不但能防水，还有很大的黏结力和速凝作用，用于修补工程和堵塞漏水很有效果。

(7) 抗冻剂。在一定负温条件下，保持混凝土水分不受冻结，并促使其凝结、硬化。如亚硝酸钠与硫酸盐复合剂，能适用于 -100℃环境下施工。

(8) 加气剂。在混凝土中掺入加气剂，能产生大量微小、密闭的气泡，既能改善混凝土的和易性、减小用水量、提高抗渗、抗冻性能，又能减轻自重，增加保温隔热性能，是现代建筑常用的隔热、隔声墙体材料。

6) 外掺料

采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥拌制混凝土时，为节约水泥和改善混凝土的工作性能，可掺用一定的混合材料，外掺料一般为当地的工业废料或廉价地方材料。外掺料质量应符合国家现行标准的规定，其掺量应经试验确定。

2. 混凝土的和易性及强度

混凝土的和易性及强度是衡量混凝土质量的两个主要指标。

1) 混凝土的和易性

和易性是指混凝土在搅拌、运输、浇筑等施工过程中保持成分均匀、不分层离析，

成型后混凝土密实均匀的性能。它包括流动性、黏聚性和保水性三方面的性能。

和易性好的混凝土，易于搅拌均匀；运输和浇筑时，不发生离析泌水现象；捣实时，流动性大，易于捣实，成型后混凝土内部质地均匀密实，有利于保证混凝土的强度与耐久性。和易性不好的混凝土，施工操作困难，质量难以保证。

2）混凝土和易性指标及测定

目前尚无全面反映混凝土拌合物和易性的指标和简单测定方法。根据对和易性的需求不同，混凝土有塑性混凝土和干硬性混凝土之分。塑性混凝土的和易性一般用坍落度测定，干硬性混凝土则用工作度试验确定。

坍落度测定主要反映混凝土在自重作用下的流动性，以目测和经验评定其黏聚性和保水性（图 5.31 为坍落度的测定）。



图 5.31　坍落度的测定

3）影响混凝土和易性的因素

(1) 水泥的影响。水泥颗粒越细，混凝土的黏聚性和保水性越好，如硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的和易性比火山灰水泥、矿渣水泥好；在水灰比相同的情况下，水泥用量越大，则和易性越好。

(2) 用水量的影响。在保持水泥用量不变的情况下，减少拌和用水量，水泥浆变稠，水泥浆的黏聚力增大，使黏聚性和保水性良好，而流动性变小。

(3) 砂率的影响。砂率过大，水泥浆被比表面积较大的砂粒所吸附，则流动性减小；砂率过小，砂子的体积不足填满石子间的空隙，石子间没有足够的砂浆润滑层，会使混凝土拌合物的流动性、黏聚性和保水性均差，甚至发生混凝土骨料离析、崩散现象。

(4) 骨料性质的影响。用卵石和河沙拌制的混凝土拌合物，其流动性比碎石和山砂拌制的好；用级配好的骨料拌制的混凝土拌合物和易性好。

(5) 外加剂的影响。混凝土拌合物掺入减水剂或引气剂，流动性明显提高，引气剂还可有效改善混凝土拌合物的黏聚性和保水性，还分别对硬化混凝土的强度与耐久性起着十分有利的作用。

4）混凝土的强度

混凝土以抗压强度作为控制和评定混凝土质量的主要指标。

混凝土抗压强度是边长为 150mm 的立方体试件，在标准条件下［温度 (20±3) ℃、相

对湿度不小于 90%］养护 28d 后，按标准试验方法测得，据此来划分混凝土强度等级。图 5.32 所示为混凝土现场制作和养护。


(a) 混凝土现场制作


(b) 混凝土养护

图 5.32　混凝土现场制作和养护

5）影响混凝土强度的因素

影响混凝土抗压强度的主要因素：一是水泥强度，二是水灰比。

(1) 水泥强度。在相同条件下，所用水泥强度等级越高，混凝土的强度也就越高；反之，强度则低。

(2) 水灰比。混凝土在硬化过程中，和水泥起水化作用的水只占水泥质量的 15% ～ 20%，其余的水只是为满足混凝土流动性的需要。水泥石在水化过程中的孔隙率取决于水灰比，如果水灰比大，则水泥浆中多余的水在混凝土中呈游离状态，硬化时会形成许多小孔，降低混凝土的密实度，从而降低混凝土强度。

(3) 混凝土振捣。浇筑混凝土时，充分捣实才能得到密实度大、强度高的混凝土。对于干硬性混凝土，可利用强力振捣、加压振捣等振捣条件提高混凝土强度；塑性混凝土则不宜利用振捣条件提高混凝土强度，过振会使混凝土产生离析泌水现象，强度降低。

(4) 粗骨料的尺寸与级配。当水泥用量和稠度一定时，较大的骨料粒径其表面积小，所需拌和水较少，较大骨料趋于形成微裂缝的弱过渡区，含较大骨料粒径混凝土拌合物比含较小粒径的强度小。

(5) 混凝土养护。混凝土强度与养护温度、湿度有关。当湿度合适时，在 4 ～ 40℃范围内，温度越高，水泥水化作用越快，其强度发展也越快；反之，则越慢。当温度低于 0℃时，混凝土强度停止发展，甚至因冻胀而破坏。

(6) 混凝土的龄期。混凝土的强度随着龄期的增长而逐渐提高，在正常养护条件下，混凝土在最初的 7 ～ 14d 内发展较快，以后逐渐趋缓，28d 达到设计强度等级，此后强度增长过程可延续数十年。

6）混凝土的其他性质

(1) 抗渗性和抗冻性。混凝土渗水主要是混凝土中的多余水分蒸发留下的毛细通道。提高混凝土的抗渗性和抗冻性的主要措施是降低水灰比、控制用水量、改善和易性、振捣密实、加强养护，或采用真空脱水，对抗渗要求较高的部位采用防水混凝土。

(2) 耐热性。普通混凝土如长期受到 70℃以上的温度作用，强度会降低，混凝土在 200℃以上的环境工作须采取隔热措施，处于高温作用的结构，应配制耐热混凝土。

(3) 混凝土的干缩湿胀。混凝土在硬化过程中，其体积要收缩；但受潮后又会膨胀。混凝土过大的干缩会产生干缩裂缝，应在设计、施工中予以注意。

3. 混凝土的配料

1）混凝土施工配合比的确定

一般混凝土的配合比是实验室配合比（理论配合比），即假定砂、石等材料处于完全干燥状态。但在现场施工中，砂、石一般都露天堆放，因此不可避免地含有一些水分，并且含水量随气候而变化。配料时必须把材料的含水率加以考虑，以确保混凝土配合比的准确，从而保证混凝土的质量。根据施工现场砂、石含水率调整以后的配：合比称为施工配合比。

若混凝土的实验室配合比：水泥：砂：石：水 $=1:s:g:w$，水灰比为 w/c，施工现场测出砂的含水率为 w_s，石的含水率为 w_g，则换算后的施工配合比：水泥：砂：石：水 $=1:s(1+w_s):g(1+w_g):(w-w_s-w_g)$，水灰比 w/c 保持不变，即用水量要减去砂石中的含水量。

2）泵送混凝土的配合比要求

(1) 泵送混凝土拌合物的坍落度不小于 80mm，水泥不宜采用火山灰水泥。

(2) 粗骨料的最大粒径与输送管径之比：泵送高度在 50m 以下时，碎石不大于 1:3，卵石不大于 1:2.5；泵送高度在 50 ～ 100m 时，碎石不大于 1:4，卵石不大于 1:3；泵送高度在 100m 以上时，碎石不大于 1:5，卵石不大于 1:4，以免堵管。

(3) 宜采用中砂，砂率宜控制在 35% ～ 45%。

(4) 混凝土的水泥用量不宜小于 300kg/m^3，水灰比不宜大于 0.6，掺用引气型减水剂时，混凝土含气量不宜大于 4%。

(5) 混凝土入泵时坍落度应符合专门的要求。

【例 5-2】已知某混凝土的实验室配合比为 1:2.93:3.93，水灰比为 $w/c=0.63$，每立方米混凝土水泥用量 $c=280$kg，现场实测砂含水率为 $w_s=3.5\%$，石子含水率为 $w_g=1.2\%$，求施工配合比及每立方米混凝土各种材料用量。

解：(1) 施工配合比。

水泥：砂：石 $=1:s(1+w_s):g(1+w_g):(w-w_s-w_g)$

$=1:2.93(1+3.5\%):3.93(1+1.2\%):(0.63-2.93\times3.5\%-3.93\times1.2\%)$

$=1:3.03:3.98:0.48$

(2) 按施工配合比每立方米混凝土各种组成材料用量。

水泥：$c=280$(kg)

砂：$s=280\times3.03=848.4$(kg)

石：$g=280\times3.98=1\,114.4$(kg)

水：$w=0.48\times280=134.4$(kg)

5.3.2 混凝土的搅拌

混凝土的搅拌包括进料容量、搅拌时间和投料顺序等。

1. 进料容量

搅拌机的容量有三种表示方式，即出料容量、进料容量和几何容量。出料容量也即公称容量，是搅拌机每次从搅拌筒内可卸出的最大混凝土体积，几何容量则是指搅拌筒

内的几何容积，而进料容量是指搅拌前搅拌筒可容纳的各种原材料的累计体积。出料容量与进料容量间的比值称为出料系数，其值一般为 0.60 ～ 0.70，通常取 0.67。进料容量与几何容量的比值称为搅拌筒的利用系数，其值一般为 0.22 ～ 0.40。

我国规定以搅拌机的出料容量来标定其规格。不同类型的搅拌机都有一定的进料容量，如果装料的松散体积超过额定进料容量的一定值（10% 以上）后，就会使搅拌筒内无充分的空间进行拌和，从而影响混凝土搅拌的均匀性。但数量也不宜过少，否则会降低搅拌机的生产率，故一次投料量应控制在搅拌机的额定进料容量以内。

【例 5-3】若采用 440L 的搅拌机，每次投料的重量是多少？

解：按施工配合比每立方米混凝土各种组成材料用量：

水泥：0.44×280=123.2（kg）（一包水泥是 50kg，取两包半，即 125kg）

砂：125×3.03=378.75（kg）

石子：125×3.98=497.5（kg）

水：125×0.48=60（kg）

2. 搅拌时间

从原材料全部投入搅拌筒中时起到开始卸料时止所经历的时间称为搅拌时间，为获得混合均匀、强度和工作性都能满足要求的混凝土所需的最低限度的搅拌时间称为最短搅拌时间，这个时间随搅拌机的类型与容量、骨料的品种、粒径及对混凝土的工作性要求等因素的不同而异。一般情况下，混凝土的匀质性是随着搅拌时间的延长而提高，但搅拌时间超过某一限度后，混凝土的匀质性便无明显改善了。搅拌时间过长，不但会影响搅拌机的生产率，而且对混凝土的强度提高也无益处，甚至由于水分的蒸发和较软骨料颗粒被长时间的研磨而破碎变细，还会引起混凝土工作性的降低，影响混凝土的质量。不同类型的搅拌机对不同混凝土的最短搅拌时间见表 5-12。

表 5-12　普通混凝土的最短搅拌时间（s）

混凝土坍落度 /mm	搅拌机类型	搅拌机的出料容量 /L		
		小于 250	250 ～ 500	大于 500
≤ 30	自落式	90	120	150
	强制式	60	90	120
＞ 30	自落式	90	90	120
	强制式	60	60	90

注：1. 当掺有外加剂时搅拌时间应适当延长。
2. 全轻混凝土宜采用强制式搅拌机，砂轻混凝土可采用自落式搅拌机，搅拌时间均应延长 60 ～ 90s。
3. 高强混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时间应适当延长。

3. 投料顺序

确定原材料投入搅拌筒内的先后顺序，应综合考虑能否保证混凝土的搅拌质量，提高混凝土的强度，减少机械的磨损与混凝土的粘罐现象，减少水泥飞扬，降低电耗以及提高生产率等多种因素。按原材料加入搅拌筒内的投料顺序的不同，普通混凝土的搅拌方法可分为一次投料法、二次投料法和水泥裹砂法等。

(1) 一次投料法。这是目前最普遍采用的方法。它是将砂、石、水泥和水一起同时加入搅拌筒中进行搅拌。为了减少水泥的飞扬和水泥的粘罐现象，向搅拌机上料斗中投料的顺序宜先倒砂子（或石子），再倒水泥，然后倒入石子（或砂子），将水泥加在砂、石之间，最后由上料斗将干物料送入搅拌筒内，加水搅拌。

(2) 二次投料法。它又分为预拌水泥砂浆法和预拌水泥净浆法。预拌水泥砂浆法是先将水泥、砂和水加入搅拌筒内进行充分搅拌，成为均匀的水泥砂浆后，再加入石子搅拌成均匀的混凝土。国内一般是用强制式搅拌机拌制水泥砂浆。然后再加入石子搅拌 1 ～ 1.5min。国外对这种工艺还设计了一种双层搅拌机（称为复式搅拌机），其上层搅拌机搅拌水泥砂浆，搅拌均匀后，再送入下层搅拌机与石子一起搅拌成混凝土。

(3) 水泥裹砂法。又称 SEC 法，采用这种方法拌制的混凝土称为 SEC 混凝土或造壳混凝土。该法的搅拌程序是先加一定量的水使砂表面的含水量调到某一规定的数值后（一般为 15% ～ 25%），再加入石子并与湿砂拌匀，然后将全部水泥投入与砂石共同拌和，使水泥在砂石表面形成一层低水灰比的水泥浆壳，最后将剩余的水和外加剂加入搅拌成混凝土。采用 SEC 法制备的混凝土与一次投料法相比较，强度可提高 20% ～ 30%，混凝土不易产生离析和泌水现象，工作性能好。

4. 搅拌机选择

混凝土的制备方法，除零星分散且用于非重要部位的可采用人工拌制外，均应采用机械搅拌。混凝土搅拌机按其搅拌原理分为自落式和强制式两类。

(1) 自落式搅拌机。混凝土拌合料在鼓筒内作自由落体式翻转搅拌，适宜搅拌塑性混凝土和低流动性混凝土。搅拌力量小、动力消耗大、效率低，正日益被强制式搅拌机所取代（图 5.33）。

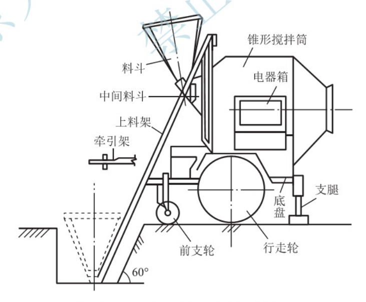


图 5.33　自落式锥形反转出料搅拌机

(2) 强制式搅拌机。混凝土拌合料搅拌作用强烈，适宜搅拌干硬性混凝土和轻骨料混凝土。搅拌质量好、速度快、生产效率高、操作简便安全，但机件磨损较严重。强制式搅拌机有立轴和卧轴之分，立轴式不宜用于搅拌流动性大的混凝土。卧轴式搅拌机具

有适用范围广、搅拌时间短、搅拌质量好等优点，是大力推广的机型（图 5.34)。

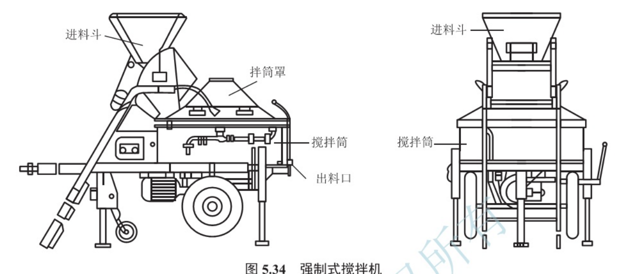


图 5.34　强制式搅拌机

(3) 大型混凝土搅拌站。混凝土的现场拌制已属于限制技术，在规模大、工期长的工程中设置半永久性的大型搅拌站是发展方向。将混凝土集中在有自动计量装置的混凝土搅拌站集中拌制，用混凝土运输车向施工现场供应商品混凝土，有利于实现建筑工业化、提高混凝土质量、节约原材料和能源、减少现场和城市环境污染、提高劳动生产率 (图 5.35)。

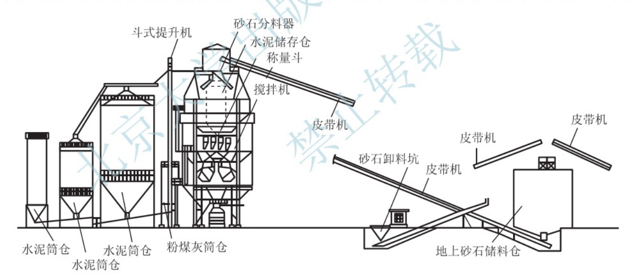


图 5.35　大型混凝土集中搅拌站竖向布置示意图

5. 选择搅拌机的注意事项

选择搅拌机时，要根据工程量的大小、混凝土的坍落度、骨料尺寸等而定，既满足技术要求，也要考虑经济效率和节约能源；工地常用搅拌机的规格（容量）为 250 ～ 1000L。

6. 混凝土搅拌的注意事项

(1) 混凝土配合比必须在搅拌站旁挂牌公布，接受监督和检查。

(2) 严格控制水灰比和坍落度，未经试验人员同意不得随意加减用水量。

(3) 混凝土掺用外加剂时，外加剂应与水泥同时进入搅拌机，搅拌时间相应延长50% ～ 100%；当外加剂为粉状时，应先用水稀释，然后与水一同加入。

(4) 搅拌第一盘混凝土时，考虑搅拌机筒壁要吸附一部分水泥浆，只加规定石子重量的一半，俗称“减半石混凝土”。

(5) 搅拌好的混凝土要基本卸尽。在全部混凝土卸出之前不得再投入拌合料，严禁采用边出料边进料的方法。

(6) 当混凝土搅拌完毕或预计停歇时间超过 1h 以上时，应将搅拌机内余料倒出，用清水清理搅拌机。

(7) 每班至少应分两次检查材料的质量及每盘的用量，确保工程质量。

5.3.3 混凝土的运输

1. 混凝土运输的基本要求

(1) 保证混凝土的浇筑量。在不允许留施工缝的情况下，混凝土运输须保证浇筑工作能连续进行，应按混凝土的最大浇筑量来选择混凝土运输方法及运输设备的型号和数量。图 5.36 所示为混凝土的运输过程。



(a) 混凝土从搅拌机中卸出



(b) 混凝土输送车将混凝土卸入泵车



(c) 泵车输送混凝土入模

图 5.36 混凝土的运输过程

(2) 应保证混凝土在初凝前浇筑完毕。应以最短的时间和最少的转换次数将混凝土从搅拌地点运至浇筑地点，混凝土从搅拌机卸出后到振捣完毕的延续时间见表 5-13。

表 5-13 混凝土从搅拌机卸出后到浇筑完毕的延续时间 (min)

混凝土强度等级	气候	
	≤ 25℃	＞ 25℃
≤ C30	120	90
＞ C30	90	60

(3) 保证混凝土在运输过程中的均匀，避免产生分层离析、水泥浆流失、坍落度变化以及产生初凝现象。

2. 混凝土运输方法和运输机具

1）混凝土地面水平运输

混凝土地面水平运输分为间歇式运输机具（手推车、机动翻斗车、自卸汽车、搅拌运输车）和连续式运输机具（皮带运输机、混凝土泵等）。手推车、机动翻斗车适用于运输距离短、运输工程量不大的混凝土输送；混凝土泵适用于水平距离在1500m内、需连续进行的混凝土输送；混凝土搅拌运输车适用于建有混凝土集中搅拌站的城市内混凝土输送；自卸汽车适用于长距离的混凝土输送。

混凝土搅拌运输车是一种长距离输送混凝土的高效机械，适用于建有混凝土集中搅拌站的混凝土输送，容量一般为6～12m^3。运输途中搅拌筒以2～4r/min的转速搅动筒内混凝土拌合料，以保证混凝土在长途运输中不致离析；在远距离运输时可将混凝土干料装入筒内，在运输途中加水搅拌，整个运输途中拌筒的总转数应控制在300转以内。如图5.37所示为混凝土搅拌运输车。

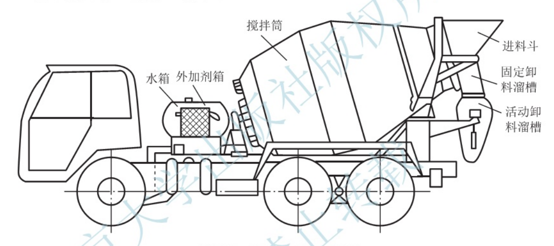


图 5.37　混凝土搅拌运输车

2）混凝土垂直运输

混凝土垂直运输机具主要是各类井架、提升机、塔吊和混凝土输送泵等。采用塔式起重机时，可考虑将混凝土搅拌机布置在塔吊工作半径内，混凝土直接卸入吊斗内，垂直提升后直接倾入混凝土浇筑点。图5.38所示为吊斗进行垂直运输；图5.39所示为吊斗将混凝土直接卸入模板内。



图 5.38　吊斗进行垂直运输



图 5.39　吊斗将混凝土直接卸入模板内

3）混凝土输送泵

可一次完成水平及垂直输送，将混凝土直接输送至浇筑地点，是一种高效的混凝土运输和浇筑机具。我国目前主要采用活塞泵，液压驱动，由料斗、液压缸和活塞、混凝土缸、分配阀、Y形输送管、冲洗系统和动力系统等组成。图5.40所示为液压活塞式混凝土泵工作原理图。

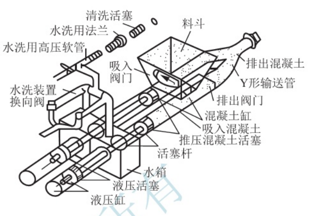


图 5.40　液压活塞式混凝土泵工作原理图

4）混凝土泵车

混凝土泵车均装有3～5节折叠式全回转布料臂、液压操作；最大理论输送能力为150m³/h，最大布料高度为51m，布料半径为46m，布料深度为35.8m；可在布料杆的回转范围内直接进行浇筑。

3. 混凝土运输注意事项

(1) 尽可能使运输线路短直、道路平坦，车辆行驶平稳，减少运输时的振荡，避免运输的时间和距离过长、转运次数过多。

(2) 混凝土容器应平整光洁、不吸水、不漏浆，装料前用水湿润，炎热气候或风雨天气宜加盖，防止水分蒸发或进水，冬季考虑保温措施。

(3) 运至浇筑地点的混凝土发现有离析和初凝现象时，须二次搅拌均匀后方可入模，已凝结的混凝土应报废，不得用于工程中。

(4) 溜槽运输的坡度不宜大于30℃，混凝土移动速度不宜大于1m/s。如溜槽的坡度太小、混凝土移动太慢，可在溜槽底部加装小型振动器；当溜槽太斜或用皮带运输机运输，混凝土移动速度太快时，可在末端设置串筒或挡板，以保证垂直下落和落差高度。

(5) 当混凝土浇筑高度超过3m时，应采用成组串筒，以保证混凝土的自由落差不大于2m。

(6) 当混凝土浇筑高度超过8m时，应设置带节管的振动串筒或多级料斗。

5.3.4　混凝土的成型和养护

1. 混凝土浇筑

混凝土成型过程包括浇筑与捣实，是混凝土工程施工的关键工序，直接影响混凝土的质量和整体性。

1）混凝土浇筑的准备工作

(1) 检查模板的标高、位置及严密性，支架的强度、刚度、稳定性，清理模板内垃圾、泥土、积水和钢筋上的油污，高温天气模板宜浇水湿润。

(2) 做好钢筋及预留预埋管线的验收和钢筋保护层检查，做好钢筋工程隐蔽记录。

(3) 准备和检查材料、机具等。



(4) 做好施工组织和技术、安全交底工作。

2) 混凝土浇筑的一般要求

(1) 混凝土须在初凝前浇筑。如已有初凝现象，则应再进行一次强力搅拌方可入模。如混凝土在浇筑前有离析现象，也须重新拌和才能浇筑。

(2) 混凝土浇筑时的自由倾落高度。对于素混凝土或少筋混凝土，由料斗、漏斗进行浇筑时，倾落高度不超过 2m；对竖向结构（柱、墙）倾落高度不超过 3m；对于配筋较密或不便于捣实的结构，倾落高度不超过 60cm。否则应采用串筒、溜槽和振动串筒下料，以防产生离析。

(3) 浇筑竖向结构混凝土前，底部应先浇入 50 ～ 100mm 厚与混凝土成分相同的水泥砂浆，以避免产生蜂窝、麻面及烂根现象。

(4) 混凝土浇筑时的坍落度。坍落度是判断混凝土施工和易性优劣的简单方法，应在混凝土浇筑地点进行坍落度测定，以检测混凝土搅拌质量，防止长时间、远距离混凝土运输引起和易性损失，影响混凝土成型质量。

(5) 混凝土的分层厚度。为使混凝土振捣密实，混凝土必须分层浇筑。其浇筑层厚度见表 5-14。

表 5-14　混凝土浇筑层厚度（mm）

捣实混凝土的方法		浇筑层的厚度
插入式振捣		振捣器作用部分长度的 1.25 倍
表面振动		200
人工捣固	在基础、无筋混凝土或配筋稀疏的结构中	250
	在梁、墙板、柱结构中	200
	在配筋密列的结构中	150
轻骨料混凝土	插入式振捣器	300
	表面振动（振动时需加荷）	200

(6) 混凝土浇筑的允许间歇时间。混凝土浇筑应连续进行，由于技术或施工组织上原因必须间歇时，其间歇时间应尽可能缩短，并在下层混凝土未凝结前，将上层混凝土浇筑完毕。混凝土运输、浇筑间隙的全部时间不得超过表 5-15 规定的允许间歇时间。

表 5-15　混凝土运输、浇筑和间隙的允许时间（min）

混凝土强度等级	气温	
	≤ 25℃	＞ 25℃
C30 及 C30 以下	210	180
C30 以上	180	150

(7) 混凝土在初凝后、终凝前应防止振动。当混凝土抗压强度达到 1.2MPa 时才允许在上面继续进行施工活动。

3) 混凝土施工缝的留设

由于施工技术或施工组织的原因，不能连续将结构整体浇筑完成，预计间隙时间将超过规定时间时，应预先选定适当的部位留置施工缝，施工缝宜留在结构受剪力较小且便于施工的部位，如图 5.41 所示。

(1) 柱子应留水平缝，柱子施工缝宜留在基础的顶面、梁或吊车梁牛腿的下面、吊车梁的上面、无梁楼板柱帽的下面。

(2) 和板连成整体的大断面梁，施工缝留在板底以下 20 ～ 30mm 处；当板下有梁托时，留在梁托下面。

(3) 单向板的施工缝留在平行于板的短边的任何位置。

(4) 有主次梁的楼板宜顺着次梁方向浇筑，施工缝应留在次梁跨度的中间 1/3 范围内。

(5) 墙体的施工缝可留在门洞口过梁跨中 1/3 范围内，也可留在纵横墙的交接处。

(6) 双向受力楼板、大体积混凝土结构、拱、蓄水池、多层刚架应按设计要求留置施工缝。

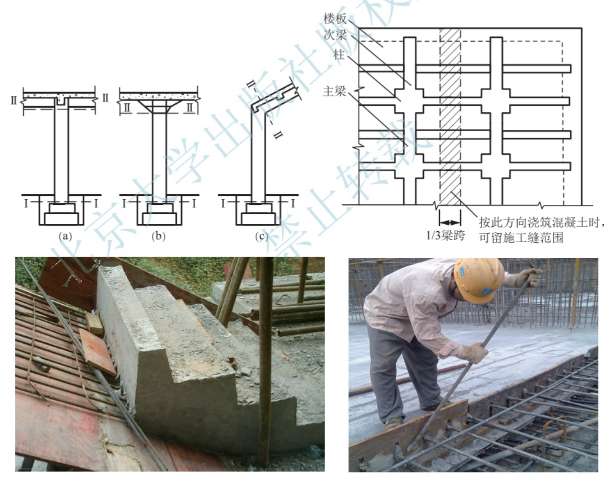


图 5.41 混凝土施工缝的留置

4) 后浇带的设置

后浇带是防止因温度变化和混凝土收缩导致结构产生裂缝的有效措施，如图 5.42 所示。



图 5.42　混凝土后浇带的留置

在正常的施工条件下，有关规范对此的规定是：如混凝土置于室内和土中，后浇带的设置距离为 30m，露天为 20m。后浇带的保留时间应根据设计确定，若设计无要求时，一般为 40d，最少应为 28d。后浇带的宽度应考虑施工简便，避免应力集中。一般其宽度为 700 ～ 1000mm。后浇带内的钢筋应完好保存，不宜断开。后浇带的构造如图 5.43 所示。

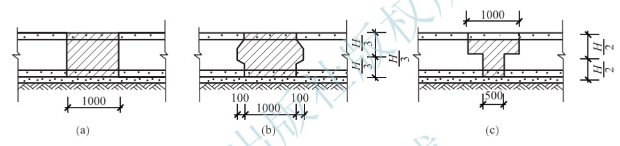


图 5.43　混凝土后浇带的构造

5）普通混凝土的浇筑方法

（1）台阶式柱基础。浇筑单阶柱基时可按台阶分层一次浇筑完毕，不允许留设施工缝，每层混凝土一次卸足，顺序是先边角后中间，务必使混凝土充满模板。

（2）柱子混凝土的浇筑。包括：

①柱子应分段浇筑，每段高度不大于 3.5m。

②柱子高度不超过 3m，可从柱顶直接下料浇筑，超过 3m 时应采用串筒或在模板侧面开孔分段下料浇筑。

③柱子开始浇筑时应在柱底先浇筑一层 50 ～ 100mm 厚的水泥砂浆或减半石混凝土。柱子混凝土应分层下料和捣实，分层厚度不大于 50cm，振动器不得触动钢筋和预埋件。

④柱子混凝土应一次连续浇筑完毕，浇筑后应停歇 1 ～ 1.5h，待柱混凝土初步沉实再浇筑梁板混凝土。

⑤浇筑整排柱子时，应由两端由外向里对称顺序浇筑，以防柱模板在横向推力下向一方倾斜。

（3）梁、板混凝土的浇筑。肋形楼板的梁、板应同时浇筑，浇筑方法应由一端开始用“赶浆法”，即先将梁根据梁高分层浇筑成阶梯形，当达到板底位置时再与板的混凝土一起浇筑，随着阶梯形不断延长，梁板混凝土浇筑连续向前推进。

（4）剪力墙混凝土的浇筑。剪力墙应分段浇筑，每段高度不大于 3m。门窗洞口应两侧对称下料浇筑，以防门窗洞口位移或变形。窗口位置应注意先浇窗台下部，后浇窗间墙，以防窗台位置出现蜂窝孔洞。

(5) 施工缝的处理。在施工缝已硬化的混凝土表面上浇筑混凝土前，应清除垃圾、杂物及已松动的砂石和软弱混凝土层，必要时混凝土表面应凿毛，用水冲洗干净并充分湿润，水平施工缝宜先铺 10 ～ 15mm 的水泥砂浆，避免直接靠近缝边下料，振动器由远向缝边接近，在靠近缝边 80 ～ 100mm 处停止振捣，但应加强施工缝接缝的捣实工作。

6) 大体积混凝土的浇筑方法

大体积混凝土浇筑后水化热量大，水化热积聚在内部不易散发，而混凝土表面又散热很快，从而形成较大的内外温差，温差过大易在混凝土表面产生裂纹；在浇筑后期，混凝土内部又会因收缩产生拉应力，当拉应力超过混凝土当时龄期的极限抗拉强度时，就会产生裂缝，严重时会贯穿整个混凝土基础。

2. 混凝土的密实成型

1) 混凝土的振动密实成型

振动机械将振动能量传递给混凝土拌合物时，混凝土拌合物中所有的骨料颗粒都受到强迫振动，呈现出所谓的“重质液体状态”，因而混凝土拌合物中的骨料犹如悬浮在液体中，在其自重作用下向新的稳定位置沉落，排除存在于混凝土拌合物中的气体，消除孔隙，使骨料和水泥浆在模板中得到致密的排列。

(1) 插入式振动器选用。①坍落度小的用高频，坍落度大的用低频；②骨料粒径小的用高频，骨料粒径大的用低频。

(2) 插入式振动器振捣方法。

①垂直振捣。容易掌握插点距离、控制插入深度（不超过振动棒长度的 1.25 倍），不易产生漏振，不易触及模板、钢筋，混凝土振后能自然沉实、均匀密实。

②斜向振捣。操作省力，效率高、出浆快，易于排出空气，不会产生严重的离析现象，振动棒拔出时不会形成孔洞。插点的分布有行列式和交错式两种。对普通混凝土，插点间距不大于 $1.5R$(R 为振动器作用半径，R=300 ～ 400mm)；对轻骨料混凝土，则不大于 $1.0R$。与模板、钢筋的距离不大于作用半径的 0.5 倍，应将振动棒上下来回抽动 50 ～ 100mm，插入下一层未初凝混凝土中的深度不小于 50mm，每一插点的振捣时间以 20 ～ 30s 为宜。

(3) 插入式振动器的操作要点。①直上和直下、快插与慢拔；②插点要均布，切勿漏点插；③上下要振动，层层要扣搭；④时间掌握好，密实质量佳。

2) 表面振动器

主要有平板振动器、振动梁、混凝土整平机和渠道衬砌机等，其作用深度较小，多用在混凝土表面进行振捣。平板振动器适用于楼板、地面及薄型水平构件的振捣，振动梁和混凝土整平机常用于混凝土道路的施工。

3) 外部振动器

又称附着式振动器，它通过螺栓或夹钳等固定在模板外部，通过模板将振动传给混凝土拌合物，因而模板应有足够的刚度。它宜用于振捣断面小且钢筋密的构件，如薄腹梁、箱形桥面梁等，地下密封的结构，以及无法采用插入式振捣器的场合。其有效作用范围可通过实测确定。

3. 混凝土养护

对于地坪、楼屋面板等大面积结构，可采用蓄水养护；对于贮水池一类工程，可在拆除内模后采取注水养护；对于地下基础工程，可采取覆土养护。

(1) 自然养护。在自然气温条件下（高于 +5℃）采取覆盖浇水养护或塑料薄膜养护。

(2) 覆盖浇水养护。是在混凝土浇筑完毕后的 3 ～ 12h 内用草帘、麻袋、锯末等将混凝土覆盖，浇水保持湿润，普通水泥、硅酸盐水泥和矿渣水泥拌制的混凝土养护不少于 7d，掺用缓凝型外加剂和抗渗的混凝土养护不少于 14d；当气温在 15℃以上时，在混凝土浇筑后的最初 3d，白天至少每 3h 浇水一次，夜间应浇水两次，以后每昼夜浇水 3 次左右。高温或干燥气候应适当增加浇水次数（当日平均气温低于 5℃时，不得浇水）。

4. 混凝土质量检查

混凝土质量检查包括施工中的检查和施工后的检查。

1) 施工中的检查

对混凝土拌制和浇筑过程中所用材料的质量及用量、搅拌及浇筑地点的坍落度的检查，每工作班内至少检查 2 次；对执行混凝土搅拌制度及现场振捣质量也应随时检查。

2) 施工后的检查

对已完成混凝土进行外观质量及强度检查，有抗冻、抗渗要求的混凝土进行抗冻抗渗性能检查。混凝土结构拆模后，应从外观上检查其表面有无麻面、蜂窝、孔洞、露筋、缺棱掉角、缝隙夹层等缺陷，外形尺寸是否超过规范允许偏差。表 5-16 为常见的外观质量缺陷。

表 5-16　现浇结构外观质量缺陷

名　　称	现　　象	严重缺陷	一般缺陷
露筋	构件内钢筋未被混凝土包裹而外露	纵向受力钢筋有露筋	其他钢筋有少量露筋
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	构件主要受力部位有蜂窝	其他部位有少量蜂窝
孔洞	混凝土中孔穴深度和长度均超过保护层厚度	构件主要受力部位有孔洞	其他部位有少量孔洞
夹渣	混凝土中夹有杂物且深度超过保护层厚度	构件主要受力部位有夹渣	其他部位有少量夹渣
疏松	混凝土中局部不密实	构件主要受力部位有疏松	其他部位有少量疏松
裂缝	缝隙从混凝土表面延伸至混凝土内部	构件主要受力部位有影响结构性能或使用功能的裂缝	其他部位有少量不影响结构性能或使用功能的裂缝
连接部位缺陷	构件连接处混凝土缺陷及连接钢筋、连接件松动	连接部位有影响结构传力性能的缺陷	连接部位有基本不影响结构传力性能的缺陷
外形缺陷	缺棱掉角、棱角不直、翘曲不平、飞边凸肋等	清水混凝土构件有影响使用功能或装饰效果的外形缺陷	其他混凝土构件有不影响使用功能的外形缺陷
外表缺陷	构件表面麻面、掉皮、起砂、沾污等	具有重要装饰效果的清水混凝土表面有外表缺陷	其他混凝土构件有不影响使用功能的外表缺陷

3) 混凝土缺陷处理

(1) 表面抹浆修补。

①对数量不多的小蜂窝、麻面、露筋、露石的混凝土表面，可用钢丝刷或加压水洗刷基层，再用（1:2.5）～（1:2）的水泥砂浆填满抹平，抹浆初凝后要加强养护。

②当表面裂缝较细、数量不多时，可将裂缝用水冲洗并用水泥浆抹补；对宽度和深度较大的裂缝，应将裂缝附近的混凝土表面凿毛或沿裂缝方向凿成深为15～20mm，宽为100～200mm的V形凹槽，扫净并洒水润湿，先用水泥浆刷第一层，然后用（1:2.5）～（1:2）的水泥砂浆涂抹2～3层，总厚控制在10～20mm，并压实抹光。

(2) 细石混凝土填补。当蜂窝比较严重或露筋较深时，应按其全部深度凿去薄弱的混凝土和个别突出的骨料颗粒，然后用钢丝刷或加压水洗刷表面，再用比原混凝土等级提高一级的细骨料混凝土填补并仔细捣实。

对于孔洞，可在旧混凝土表面采用处理施工缝的方法处理：将孔洞处不密实的混凝土突出的石子剔除，并凿成斜面，避免死角；然后用水冲洗或用钢丝刷子清刷，充分润湿后，浇筑比原混凝土强度等级高一级的细石混凝土。细石混凝土的水灰比宜在0.5以内，并可掺入适量混凝土膨胀剂，分层捣实并认真做好养护工作。

(3) 环氧树脂修补。当裂缝宽度在0.1mm以上时，可用环氧树脂灌浆修补。修补时先用钢丝刷清除混凝土表面的灰尘、浮渣及散层，使裂缝处保持干净，然后把裂缝做成一个密闭性空腔，有控制地留出进出口，借助压缩空气把浆液压入缝隙，使它充满整个裂缝。这种方法具有很好的强度和耐久性，与混凝土有很好的黏结作用。

5. 混凝土冬期施工

根据当地多年气温资料，室外日平均气温连续5d稳定低于5℃时，混凝土结构工程应采取冬期施工措施，并应及时采取气温突然下降的防冻措施。

冬期施工中要保证混凝土结构不受破坏，至少需要混凝土在受冻前达到临界强度，这就需要混凝土早期具备较高的温度，以满足强度较快增长的需要。温度升高需要热量，一部分热量来源于水泥的水化热，另外一部分则只有采用加热的方法获得。首先最有效、最经济的方法是加热水，因水不但易于加热，而且比热也大。当加热水不能获得足够的热量时，可加热粗、细骨料，一般采用蒸汽加热。任何情况下，不得直接加热水泥，可在使用前把水泥运入暖棚，使其缓慢均匀提高一定的温度。

本章小结

通过本章的学习，了解混凝土组成材料的分类，混凝土的性能；了解搅拌、浇筑、振捣混凝土的基本操作技能；了解钢筋的种类、性能、加工、连接和配料等技能；通过实例讲解，懂得搅拌、浇筑、振捣混凝土的基本流程及注意事项；掌握各种结构的混凝土施工缝处理方法和混凝土不同季节的养护方法；懂得混凝土常见质量问题及防治，具备安全生产、文明施工的基本知识及自身安全防备能力。

习　　题

一、简答题

1. 简述模板系统的组成。
2. 模板拆除时的要求有哪些？应注意的事项有哪些？
3. 在混凝土工程中对混凝土的性能有哪些要求？
4. 简述“一次投料法”和“二次投料法”的异同。
5. 施工缝的留置应注意的问题有哪些？
6. 施工缝处在浇筑之前应解决的问题有哪些？
7. 简述后浇带的设置。
8. 使用插入式振动器垂直振动的操作要点有哪些？
9. 混凝土在养护过程中需要注意的问题有哪些？
10. 简述混凝土的缺陷产生的原因以及处理方式。

二、选择题

1. 关于后浇带施工的做法，正确的是（　　）。（2012 年二级建造师实务考试真题）

A. 浇筑与原结构相同等级的混凝土
B. 浇筑与原结构提高一等级的微膨胀混凝土
C. 接槎部分未剔凿直接浇筑混凝土
D. 后浇带模板支撑重新搭设后浇带混凝土

2. 关于钢筋连接方式，正确的是（　　）。（2012 年二级建造师实务考试真题）

A. 焊接　　B. 普通螺栓连接
C. 铆接　　D. 高强螺栓连接

3. 关于建筑工程质量常用水泥性能与技术要求的说法，正确的是（　　）。（2013 年二级建造师实务考试真题）

A. 水泥的终凝时间是从水泥加水拌和至水泥浆开始失去可塑性所需的时间
B. 六大常用水泥的初凝时间均不得长于 45 min
C. 水泥的体积安定性不良是指水泥在凝结硬化过程中产生不均匀的体积变化
D. 水泥中的碱含量太低更容易产生碱骨料反应

4. 某跨度为 6m，设计强度为 C30 的钢筋混凝土梁，其同条件养护试件（150mm 立方体）抗压强度见表 5-17，可拆除该梁底模的最早时间是（　　）。（2013 年二级建造师实务考试真题）

表 5-17　抗压强度

时间 /d	7	9	11	13
试件强度 /MPa	16.5	20.8	23.1	25

A. 7d　　B. 9d　　C. 11d　　D. 13d

5. 下列指标中，属于常用水泥技术指标的是（　　）。(2014 年二级建造师实务考试真题）

A. 和易性　　B. 可泵性　　C. 安定性　　D. 保水性

6. 直接承受动力荷载的钢筋混凝土结构构件，其纵向钢筋连接应优先采用（　　）。(2014 年二级建造师实务考试真题）

A. 闪光对焊　　B. 绑扎搭接　　C. 电弧焊　　D. 直螺纹套筒连接

三、计算题

1. 某混凝土实验室配合比为 1∶2.12∶4.37，W/C=0.62，每立方米混凝土水泥用量为 290kg，实测现场砂含水率为 3%，石含水率为 1%。试求：

(1) 施工配合比。

(2) 当用 350L（出料容量）搅拌机搅拌时，每拌一次投料水泥、砂、石、水各多少？（注：现场水泥为袋装水泥）

2. 梁高为 550mm，梁保护层为 25mm，1 号钢筋直径为 25mm，且左右对称。

(1) 计算 1 号钢筋的下料长度。

(2) 按照钢筋配料单中简图形式标明 1 号钢筋每段尺寸（图 5.44）。

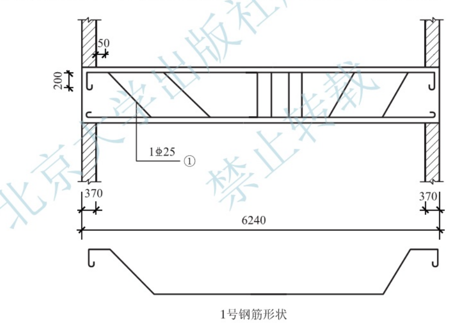


图 5.44　钢筋配料单中简图形式

3. 计算图示钢筋下料长度（图 5.45 中标注尺寸为外包尺寸，钢筋左右对称）。

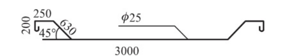


图 5.45　钢筋下料长度计算图示

第 6 章

预应力混凝土工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
预应力钢筋	掌握	预应力钢丝、预应力钢绞线、热处理钢筋等以及预应力钢筋的验收
张拉锚固体系及张拉设备等	了解	了解锚具、夹具、连接器以及各种形式张拉设备的适用情况
预应力混凝土施工	重点掌握	先张法和后张法的施工工艺过程和无黏结预应力筋、质量控制与技术措施

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
先张法和后张法施工的工艺流程	掌握	根据工程的实际状况和规范要求安排合理的工艺流程，进行高质量、高效率的施工

案例导航

如下图所示为南京国际展览中心楼板中铺放的双向无黏结预应力筋。



本章问题讨论

通过查找南京国际展览中心的建设相关资料，简述预应力钢筋在工程中的应用。另外，什么叫做有黏结预应力钢筋和无黏结预应力钢筋，它们如何施工呢？

6.1 预应力钢筋

预应力钢筋是指在预应力结构中用于建立预加应力的单根或成束的预应力钢丝、钢绞线或钢筋等。

预应力钢筋宜采用螺旋肋钢丝、刻痕钢丝和低松弛钢绞线，也可采用热处理钢筋。

冷拔低碳钢丝和冷拉钢筋由于存在残余应力、屈强比低，已逐渐为螺旋肋钢丝、刻痕钢丝或 1×3 钢绞线所取代，不再作为预应力钢筋使用。

6.1.1 预应力钢丝

1. 螺旋肋钢丝

螺旋肋钢丝是通过专用拔丝模冷拔使钢丝表面沿长度方向产生规则间隔肋条的钢丝。其直径为 4 ～ 9mm，标准抗拉强度为 1570 ～ 1770 N/mm^2。螺旋肋能增加与混凝土的握裹力，可用于先张法构件。如图 6.1 所示为螺旋肋钢丝外形。

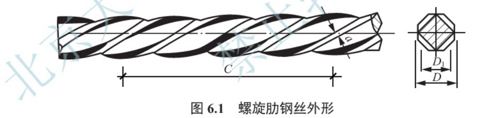


图 6.1 螺旋肋钢丝外形

2. 刻痕钢丝

刻痕钢丝是用冷轧或冷拔方法使钢丝表面产生周期性变化的凹痕或凸纹的钢丝。直径为 5mm、7mm，标准抗拉强度 1570N/ mm^2。钢丝表面的凹痕或凸纹能增加与混凝土的握裹力，可用于先张法构件。如图 6.2 所示为三面刻痕钢丝外形。

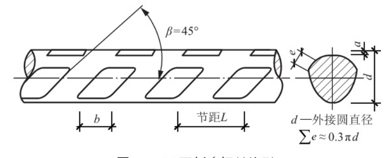


图 6.2 三面刻痕钢丝外形

6.1.2　预应力钢绞线

钢绞线是由多根碳素钢丝在绞线机上呈螺旋形绞合，并经低温回火消除应力制成。钢绞线的整根破断力大、柔性好，施工方便，具有广阔的发展前景，但价格比钢丝贵。钢绞线可分为光面钢绞线、无黏结钢绞线、模拔钢绞线、镀锌钢绞线、环氧涂层钢绞线、不锈钢钢绞线等。

1. 光面钢绞线

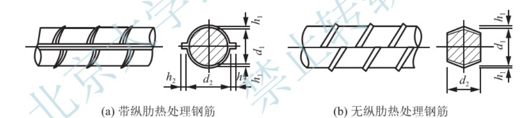
常用光面钢绞线的规格有 1×3 和 1×7 两种，直径为 8.6 ～ 15.2mm，标准抗拉强度为 1570 ～ 1860N/mm^2。后张法预应力均采用 1×7 钢绞线，1×3 钢绞线仅用于先张法构件。

2. 无黏结钢绞线

无黏结钢绞线是用防腐润滑油脂涂敷在钢绞线表面上，外包塑料护套制成，主要用于后张法中无黏结预应力筋，也可用于暴露或腐蚀环境中的体外索、拉索等。

6.1.3　热处理钢筋

热处理钢筋是由普通热轧中碳合金钢筋经淬火和回火调质热处理制成，具有高强度、高韧性和高黏结力等优点，直径为 6 ～ 10mm。成品钢筋为直径 2m 的弹性盘卷，开盘后自行伸直，每盘长度为 100 ～ 120m。热处理钢筋的螺纹外形有带纵肋和无纵肋两种（图 6.3）。



(a) 带纵肋热处理钢筋　　(b) 无纵肋热处理钢筋

图 6.3　热处理钢筋

6.1.4　精轧螺纹钢筋

精轧螺纹钢筋是用热轧方法在钢筋表面上轧出不带肋的螺纹外形。钢筋的接长用连接螺纹套筒，端头锚固用螺母。精轧螺纹钢筋具有锚固简单、施工方便、无须焊接等优点。目前国内生产的精轧螺纹钢筋品种有直径 25mm 和直径 32mm 两种，其屈服点分别为 750MPa 和 900MPa。如图 6.4 所示为精轧螺纹钢筋外形。

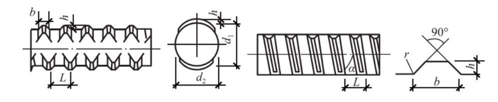


图 6.4　精轧螺纹钢筋外形

6.1.5 预应力钢筋的特性

1. 应力 - 应变曲线

碳素钢丝或钢绞线均属硬钢。当钢丝拉伸到超过比例极限 σ_p(取残余应变为 0.01%时的应力)后,σ–ε 关系呈非线性变化,没有明显的屈服点。

当钢丝拉伸超过 $\sigma_{0.2}$(残余应变为 0.2%)后,应变 ε 增加较快;当拉伸至最大应力 σ_b 时,应变 ε 继续发展,在 σ–ε 曲线上呈现为一水平段,然后断裂。图 6.5 所示为预应力筋 σ–ε 曲线。

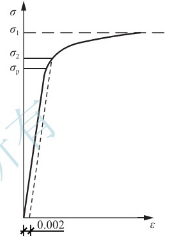


图 6.5 预应力筋 σ–ε 曲线

2. 应力松弛

应力松弛是钢材受到一定的张拉力后,在长度保持不变的条件下,钢材的应力随时间的增长而降低的现象,其降低值称为应力松弛损失。产生应力松弛的原因主要是由于金属内部错位运动使一部分弹性变形转化为塑性变形引起的。图 6.6 是根据碳素钢丝和热处理钢筋的试验数据,绘出的其松弛率与时间、钢种、温度的关系。

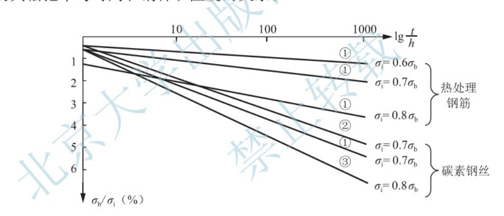


图 6.6 预应力筋的应力松弛损失

(1) 松弛率与时间的关系。应力松弛初期发展较快,以后逐渐减慢。钢丝应力松弛损失率与时间 t 有较好的对数线性关系。

(2) 松弛率与钢种的关系。钢丝和钢绞线的应力松弛率比热处理钢筋和精轧螺纹钢筋大。

(3) 松弛率与初应力的关系。初应力大,松弛损失也大。当 $\sigma_i > 0.7\sigma_b$ 时,松弛损失率明显增大。

(4) 松弛率与温度的关系。随着温度的升高,松弛损失率急剧增加。根据国外试验资料,40℃时 1000h 松弛损失率约为 20℃时的 1.5 倍。

3. 减少应力松弛损失的措施

(1) 采取超张拉程序。

(2) 采用低松弛钢绞线或钢丝,其松弛损失可减少 70% ~ 80%。

6.1.6 预应力钢筋的验收

预应力钢筋的验收包括标牌和外观检查，并按有关规定取样进行力学性能检验。

1. 标牌检查

预应力钢筋出厂，每捆（盘）应挂有两个标牌（上注厂名、品名、规格、生产工艺及日期、批号等），并有随货同行的出厂质量证明书。每验收批由同一牌号、同一规格、同一生产工艺的预应力钢筋组成，每批数量不超过 60t。

2. 外观检查

钢丝和钢绞线的外观检查均应逐盘进行。钢丝表面不得有油污、氧化铁皮、裂纹或机械损伤。钢丝直径检查按 10% 盘选取，但不少于 6 盘；钢绞线表面不得有油污、锈斑或机械损伤。镀锌、涂环氧钢绞线、无黏结钢绞线等涂层表面应均匀、光滑、无裂纹、无明显褶皱。

无黏结预应力筋每验收批应抽取 3 个试件检验油脂重量和护套厚度。

精轧螺纹钢的外观检查应逐根进行。钢筋表面不得有锈蚀、油污、横向裂缝、结疤。

3. 力学性能检验

在每批钢丝中任意选取 10% 盘（不少于 6 盘），每盘在任意位置截取 2 根试件，1 根做拉伸试验，1 根做弯曲试验，如一项试验不合格，则该盘钢丝为不合格品；另从该批未经检验的钢丝盘中抽取双倍数量的试件进行检验，如仍有一项不合格，则该批钢丝判为不合格品；或逐盘检验取用合格品。

在每批钢绞线中任意选取 3 盘，每盘在任意位置截取一根试件做拉伸试验，如有某一项试验结果不合标准要求，则该不合格盘报废；另从未经检验过的钢绞线中抽取双倍数量的试件进行复检，如仍有一项不合格，则该批钢绞线判为不合格品。

4. 运输及存放

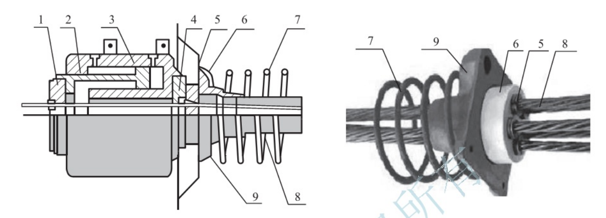
预应力筋由于强度高、塑性差，在无应力状态下对腐蚀作用比普通钢筋敏感。预应力筋在运输或存放过程中，如遭受雨淋、湿气或腐蚀介质的侵蚀，易发生锈蚀，不仅降低质量，钢筋表面出现腐蚀坑，有时甚至会造成钢筋脆断。

6.2 预应力张拉锚固体系

预应力锚固体系根据锚固不同预应力的需要，可分为钢丝类锚具、钢筋类锚具、钢绞线类锚具和 FRP 材料锚具。根据应用工程领域及特性，可分为常规锚具、核安全壳环型锚具、低温储罐锚具、边坡岩土锚具、水工锚具等。同时配套开发了相应的千斤顶、高压油泵等张拉设备。

目前，各种预应力结构主要采用钢绞线为预应力筋。钢绞线锚具（图 6.7）分为张拉端锚具、固定端锚具和连接器。张拉端锚具常采用夹片式锚具，固定端锚具可分为

挤压式和压花式，根据应用的需要均分为圆形和扁形锚具。所适用的PC钢绞线强度范围为1860～2000MPa及以下级别的12.7mm、12.9mm、15.2m、15.7mm、17.8mm、21.6mm、28.6mm各直径规格，钢绞线根数范围为1根以上（图6.8）。



1—工具锚板；2—活塞；3—油缸；4—限位板；5—工具夹片；6—工作锚板；7—螺旋筋；8—钢绞线；9—锚垫板

图6.7　钢绞线锚具

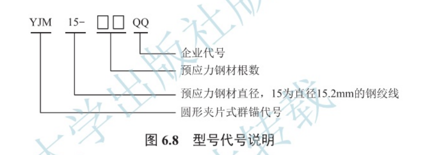


图6.8　型号代号说明

6.2.1　锚具

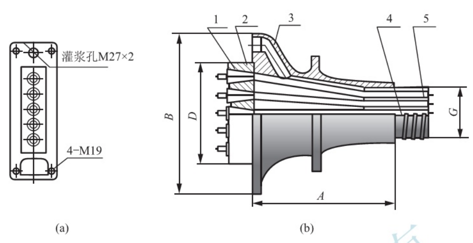
在后张法结构或构件中，用于保持预应力筋的拉力并将其传递到混凝土（或钢结构）上所用的夹持预应力筋的永久性锚固装置。后张法锚固体系包括锚具、锚垫板和螺旋筋。锚具尚应满足分级张拉、补张拉和放松拉力等张拉工艺的要求。锚固多根预应力筋的锚具，除应具有整束张拉的性能外，尚宜具有单根张拉的可能性。

1. 夹片式锚具

夹片式锚具分为单孔夹片锚具和多孔夹片锚具，由工作锚板、工作夹片、锚垫板、螺旋筋组成；可锚固预应力钢绞线，也可锚固7Φ5、7Φ7的预应力钢丝束，主要用作张拉端锚具；具有自动跟进、放张后自动锚固、锚固效率系数高、锚固性能好、安全可靠等特点。

2. 镦头锚具

镦头锚体系可张拉Φ^P5、Φ^P7高强钢丝束，常用镦头锚具分为A型和B型：A型由锚杯和螺母组成，用于张拉端；B型（图6.9）为锚板，用于固定端。预应力筋采用钢丝镦头器镦头成型，配套张拉使用YDC系列穿心式千斤顶。镦头锚具主要用于后张法施工中。

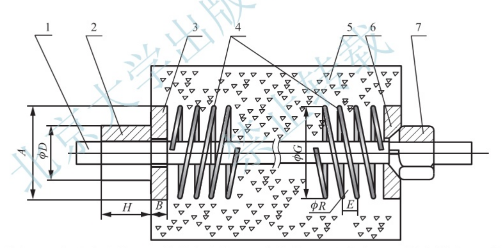


1—工作夹片；2—扁形锚板；3—扁形锚垫板；4—扁形波纹管；5—钢绞线

图 6.9　BM13、BM15 扁形锚具构造（五孔）

3. 精轧螺纹钢锚具、连接器

由螺母和垫板组成，可锚固 $\phi25$、$\phi32$ 高强精轧螺纹钢筋，主要用于先张法、后张法施工的预应力箱梁、纵向预应力及大型预应力屋架，如图 6.10 所示。连接器主要用于螺纹钢筋的接长。



1—精轧螺纹钢；2—螺母（平头）；3—垫板（平头）；4—螺旋筋；5—混凝土；6—垫板（锥）；7—螺母（锥）

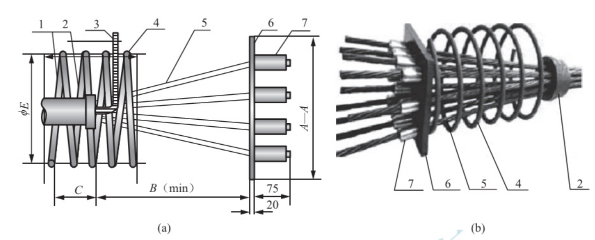
图 6.10　JLM 型精轧螺纹钢锚具构造图

4. 螺丝端杆锚具

螺丝端杆锚具由螺丝端杆、螺母和垫板组成，可锚固冷拉Ⅱ、Ⅲ级钢筋，主要用于后张法施工的预应力板梁及大型屋架。

5. 挤压式（P 型）锚具

P 型锚具是由挤压头、螺旋筋、P 型锚板（图 6.11）和约束圈组成，它是在钢绞线端部安装钢丝衬圈和挤压套，利用挤压机将挤压套挤过模孔，使其产生塑性变形而握紧钢绞线，形成可靠锚固。P 型锚具用于后张法预应力构件的固定端对钢绞线的挤压锚固。



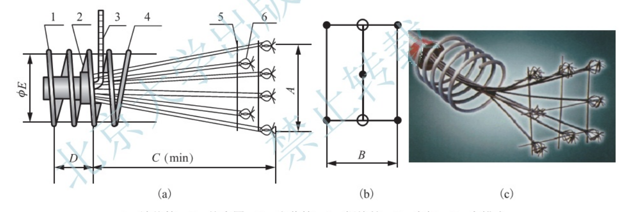
(a)　　(b)

1—波纹管；2—约束圈；3—出浆管；4—螺旋筋；5—钢绞线；6—固定锚板；7—挤压套

图 6.11　P 型锚具构造图

6. 压花式（H 型）锚具

当需要把后张力传至混凝土时，可采用 H 型固定端锚具（图 6.12），它包括带梨形自锚头的一段钢绞线，支托梨形自锚头用的钢筋支架、螺旋筋、约束圈等。钢绞线梨形自锚头采用专用的压花机挤压成型。



(a)　　(b)　　(c)

1—波纹管；2—约束圈；3—出浆管；4—螺旋筋；5—支架；6—自锚头

图 6.12　H 型锚具构造图

7. 钢质锥形锚具

钢质锥形锚具（又称弗氏锚具）由锚圈和锚塞组成，可锚固 6 ～ 30$\Phi^{P}5$ 或 12 ～ 24$\Phi^{P}7$ 的高强钢丝束，常用于后张法预应力混凝土结构和构件中，配套 YDZ 系列专用千斤顶张拉。

6.2.2　夹具

在先张法构件施工时，用于保持预应力筋的拉力，并将其固定在生产台座（或设备）上的临时性锚固装置（图 6.13）；在后张法结构或构件施工时，在张拉千斤顶或设备上夹持预应力筋的临时性锚固装置（又称工具锚）。

1. 钢丝的夹具

先张法中钢丝的夹具分为两类：一类是将预应力筋锚固在台座上的锚固夹具；另一类是张拉时夹持预应力筋用的夹具。锚固夹具与张拉夹具都是重复使用的工具。



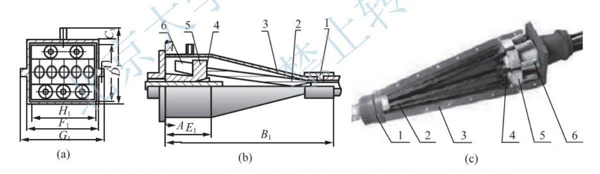
图 6.13　圆形连接器和夹片

2. 钢绞线的夹具

QM 预应力体系中的 JXS、JXL、JXM 型夹具是专为先张法台座预应力钢绞线张拉的需要而设计，可适应 9.5mm、12.2mm、12.7mm、15.2mm、15.7mm、17.8mm 等规格钢绞线的先张法台座张拉。

6.2.3　连接器

连接器（图 6.14）可分为单根和多根两种形式。单根连接器用于接长未张拉的钢绞线，两端均采用夹片夹持钢绞线进行连接；多根连接器用于接长钢绞线束，通常用于连续梁，是一种带翼的锚板，一端支撑在原锚垫板上，另一端设置夹片，即可按常规张拉钢绞线束。在每根接长钢绞线的端部制作 P 型挤压头，并将它与钢绞线逐根挂入连接器的翼板内，完成钢绞线束的接长。连接器用于连续构件的预应力筋接长。



1—约束圈；2—钢绞线；3—保护罩；4—工作夹片；5—连接器；6—挤压套

图 6.14　QQL15/L13 圆锚工作连接器构造图

6.3　张拉设备

预应力张拉设备主要有电动张拉设备和液压张拉设备两大类。电动张拉设备仅用于先张法，液压张拉设备可用于先张法与后张法。液压张拉设备由液压千斤顶、高压油泵和外接油管组成。

张拉设备应装有测力仪器，以准确建立预应力值。张拉设备应由专人使用和保管，并定期维护和校验。

6.3.1 电动张拉机械

常用的电动张拉机械主要有电动螺杆张拉机、电动卷扬张拉机等，常用于先张法施工中。图 6.15 是电动卷扬张拉机构造图，图 6.16 是电动螺杆张拉机构造图。

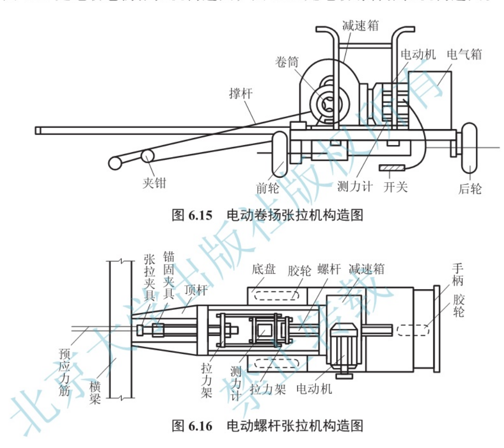


图 6.15 电动卷扬张拉机构造图

图 6.16 电动螺杆张拉机构造图

6.3.2 液压张拉设备

1. 穿心式千斤顶

穿心式千斤顶是一种利用双液压缸张拉预应力筋和顶压锚具的双重作用的千斤顶。它既可用于需要顶压的夹片锚的整体张拉；配上撑脚与拉杆后，还可张拉镦头锚和冷铸锚。它广泛用于先张法、后张法的预应力施工。

2. 拉杆式千斤顶

拉杆式千斤顶为空心拉杆式千斤顶，选用不同的配件可组成几种不同的张拉形式。它可张拉 DM 型螺丝端杆锚、JLM 精轧螺丝钢锚具、LZM 冷铸锚等。图 6.17 是拉杆式千斤顶构造示意图。

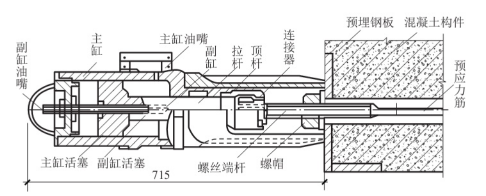


图 6.17　拉杆式千斤顶构造示意图

3. 锥锚式千斤顶

锥锚式千斤顶是一种具有张拉、顶锚和退楔功能的三大作用的千斤顶，专用于张拉及顶压、锚固带钢质锥形（弗氏）锚的钢丝束。

4. 前卡式千斤顶

前卡式千斤顶是一种张拉工具锚内置于千斤顶前端的穿心式千斤顶，可自动夹紧和松开工具锚夹片，简化了施工工艺，节省了张拉时间，而且缩短了预应力筋预留张拉长度。它主要用于各种有黏结筋和无黏结筋的单根张拉。

5. 扁锚整体张拉千斤顶

扁锚整体张拉千斤顶是一种整体预应力张拉千斤顶。它采用双并列油缸的结构，扁锚采用整体一次张拉，克服了扁锚由于单孔张拉而引起构件应力不均匀，预应力筋延伸量不足，构件扭曲等现象，并且可提高施工工效。它可广泛用于各种锚固体系的扁锚预应力施工。

6.3.3　高压油泵

高压油泵向液压千斤顶的油缸高压供油。油泵的额定压力应大于或等于千斤顶的额定压力。高压油泵的额定压力为 40 ～ 80MPa。

千斤顶张拉时，张拉力的大小是通过油泵上的油压表的读数来控制的。油压表的读数表示千斤顶张拉油缸活塞单位面积的油压力。在理论上如已知张拉力 N，活塞面积 A，则可求出张拉时油表的相应读数 P。

预应力钢筋、锚具、张拉机具的配套使用情况见表 6-1。

表 6-1　预应力钢筋、锚具、张拉机具的配套使用情况

预应力筋品种	锚具形式			张拉机械
	张拉端		固定端	
	安装在结构之外	安装在结构之内		
钢绞线及钢绞线束	夹片锚具挤压锚具	压花锚具挤压锚具	夹片锚具	穿心式
钢丝束	夹片锚具镦头锚具挤压锚具	挤压锚具镦头锚具	夹片锚具	穿心式
			镦头锚具	穿心式
			锥塞锚具	锥锚式
精轧螺纹钢筋	螺母锚具	—	螺母锚具	拉杆式

6.4 预应力混凝土施工

6.4.1 概述

1. 预应力混凝土工作原理

普通钢筋混凝土构件的抗拉极限应变只有 $0.1\times10^{-3}\sim0.15\times10^{-3}$。构件混凝土受拉开裂时，受拉钢筋的应力仅达 1/4 ～ 1/3，钢筋的抗拉强度未能充分发挥。

预应力混凝土是在构件承受外荷载前，预先在构件的受拉区对混凝土施加预压应力。使用阶段的构件在外荷载作用下产生拉应力时，先要抵消预压应力，这就推迟了混凝土裂缝的出现，并限制了裂缝的开展，从而提高构件的抗裂度和刚度。

2. 建立预压应力的方法

建立预压应力的方法是通过对受拉区的预应力钢筋进行张拉、锚固、放松，借助预应力钢筋的弹性回缩，使受拉区混凝土事先获得预压应力来实现的。

3. 预应力混凝土的种类

(1) 按预应力大小分，可分为全预应力混凝土、部分预应力混凝土。

(2) 按施加预应力方式分，可分为先张法预应力混凝土、后张法预应力混凝土、自应力混凝土。

(3) 按预应力筋的黏结状态分，可分为有黏结预应力混凝土、无黏结预应力混凝土。

(4) 按施工方式分，可分为预制预应力混凝土、现浇预应力混凝土、叠合预应力混凝土。

4. 预应力混凝土的优缺点

(1) 有效利用高强钢材。

(2) 减小结构构件的截面尺寸、自重，能增大结构构件跨度，减少结构构件占用空间。

(3) 提高使用荷载下结构的抗裂性和刚度。

(4) 质量好、降低工程造价、结构耐久性好。

(5) 技术含量高、操作要求严，需要增添专用设备。

6.4.2 先张法预应力施工

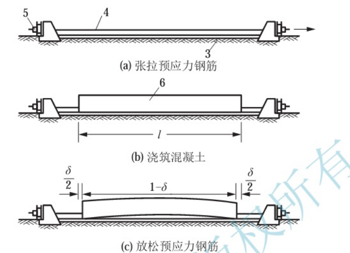
1. 先张法的应用

先张法主要应用于房屋建筑中的空心板、多孔板、槽形板、双 T 板、V 形折板、托梁、檩条、槽瓦、屋面梁等；道路桥梁工程中的轨枕、桥面空心板、简支梁等；在基础工程中应用的预应力方桩及管桩等。

2. 先张法施工

先张法是在混凝土构件浇筑前先张拉预应力筋，并用夹具将其临时锚固在台座或钢

模上，再浇筑构件混凝土，待其达到一定强度后（约 75%）放松并切断预应力筋，预应力筋产生弹性回缩，借助混凝土与预应力筋间的黏结，对混凝土产生预压应力。图 6.18 所示为先张法施工工艺示意图。



1—台座承力结构；2—横梁；3—台面；4—预应力钢筋；5—夹具；6—构件

图 6.18　先张法施工工艺示意图

台座由台面、横梁和承力结构组成。按构造形式不同，可分为墩式台座、槽形台座和桩式台座等。台座可成批生产预应力构件。

台座承受全部预应力筋的拉力，故台座应具有足够的强度、刚度和稳定性，以免因台座变形、倾覆和滑移而引起预应力的损失。

(1) 墩式台座。由现浇钢筋混凝土做成，台座应具有足够的强度、刚度和稳定性，台座设计应进行抗倾覆验算与抗滑移验算。图 6.19 为墩式台座构造示意图。

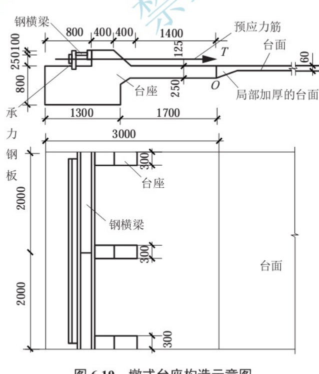


图 6.19　墩式台座构造示意图

(2) 槽式台座。由端柱、传力柱、横梁和台面组成，既可承受张拉力和倾覆力矩，加盖后又可作为蒸汽养护槽。槽式台座适用于张拉吨位较大的吊车梁、屋架、箱梁等大型预应力混凝土构件。图 6.20 为槽式台座构造示意图。

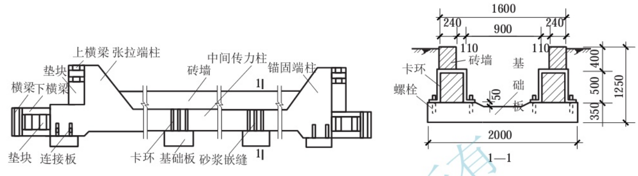


图 6.20　槽式台座构造示意图

(3) 钢模台座。主要在工厂流水线上使用。它是将制作构件的模板作为预应力钢筋锚固支座的一种台座。模板具有相当的刚度，可将预应力钢筋放在模板上进行张拉。

3. 先张法的施工工艺

用先张法在台座上生产预应力混凝土时，其工艺流程如图 6.21 所示。

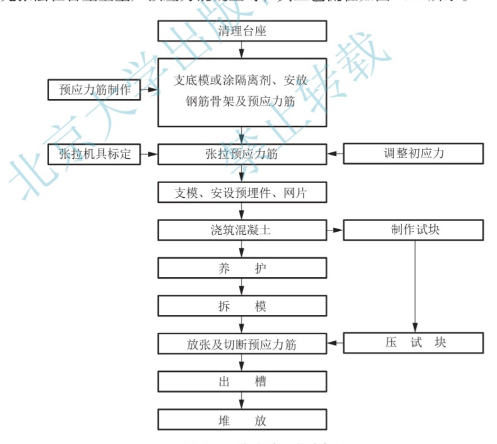


图 6.21　先张法工艺流程图

预应力混凝土先张法施工工艺的特点是：预应力筋在浇筑混凝土前张拉，预应力的传递主要依靠预应力筋与混凝土之间的黏结力，为了获得质量良好的构件，在整个生产

过程中，除确保混凝土质量以外，还必须确保预应力筋与混凝土之间的良好黏结，使预应力混凝土构件获得符合设计要求的预应力值。

4. 预应力筋的张拉

(1) 单根钢丝张拉。台座法多进行单根张拉，由于张拉力较小，一般可采用 10 ～ 20kN 电动螺杆张拉机或电动卷扬机单根张拉，弹簧测力计测力，优质锥销式夹具锚固。

(2) 整体钢丝张拉。台模法多进行整体张拉，可采用台座式千斤顶设置在台墩与钢横梁之间进行整体张拉，优质夹片式夹具锚固。整体钢丝张拉时，要求钢丝的长度相等，事先调整初应力。

在预制厂生产预应力多孔板时，可在钢模上用镦头梳筋板夹具进行整体张拉。方法是：钢丝两端镦粗，一端卡在固定梳筋板上，另一端卡在张拉端的活动梳筋板上。用张拉钩钩住活动梳筋板，再通过连接套筒将张拉钩和拉杆式千斤顶连接，即可张拉。

(3) 单根钢绞线张拉。可采用前卡式千斤顶张拉，单孔夹片工具锚固定。

(4) 整体钢绞线张拉。一般在三横梁式台座上进行，台座式千斤顶与活动横梁组装在一起，利用工具式螺杆与连接器将钢绞线挂在活动横梁上，张拉前，先用小型千斤顶在固定端逐根调整钢绞线初应力。张拉时，台座式千斤顶推动活动横梁带动钢绞线整体张拉。

(5) 粗钢筋的张拉。分为单根张拉和多根成组张拉。由于在长线台座上预应力筋的张拉伸长值较大，一般千斤顶行程多不能满足，张拉较小直径钢筋可用卷扬机。

5. 预应力筋的张拉程序

(1) 预应力钢丝。钢丝的张拉工作量大，宜采用一次张拉程序：$0 \rightarrow 1.03 \sim 1.05\sigma_{con}$ 锚固。σ_{con} 为预应力筋的张拉控制应力。

(2) 低松弛钢绞线。采用一次张拉程序：对于单根张拉，$0 \rightarrow \sigma_{con}$ 锚固；对于整体张拉，$0 \rightarrow$ 初应力调整 $\rightarrow \sigma_{con}$ 锚固。

6. 预应力值校核

钢丝张拉时，伸长值不做校核。张拉锚固后，用钢丝内力测定仪反复测定 4 次，取后 3 次的平均值为钢丝内力。其允许偏差为设计规定预应力值的 ±5%。每工作班检查预应力筋总数的 1%，且不少于 3 根。

钢绞线张拉时，一般采用张拉力控制、伸长值校核。

张拉时预应力筋的实际伸长值与理论伸长值的允许偏差为 ±6%。

张拉力控制的校核方法与钢丝相同。

7. 先张法施工注意事项

(1) 台座法张拉预应力筋时，应先张拉靠近台座截面重心处的预应力筋，避免台座承受过大的偏心压力。张拉宜分批、对称进行。

(2) 采用应力控制法张拉时，应校核预应力筋的伸长值。当实际伸长值与计算伸长值的偏差大于 ±6% 时，应暂停张拉，查明原因并采取措施调整后，方可继续张拉。

(3) 多根预应力筋同时张拉时，须事先调整初应力，使相互间的应力一致。预应力

筋张拉锚固后的实际预应力值与设计规定检验值的相对允许偏差为 ±5%。

(4) 先张法中的预应力筋不允许出现断裂或滑脱。在浇筑混凝土前发生断裂或滑脱的预应力筋必须予以更换。

(5) 锚固时，张拉端预应力筋的回缩量应符合设计要求，设计无要求时不得大于相关施工规范的规定。

(6) 张拉锚固后，预应力筋对设计位置的偏差不得大于 5mm，且不得大于构件截面短边尺寸的 4%。

(7) 施工中必须注意安全，严禁正对钢筋张拉的两端站立人员，防止断筋回弹伤人。

8. 混凝土的浇筑与养护

预应力筋张拉完成后，应尽快进行钢筋绑扎、模板拼装和混凝土浇筑等工作。混凝土浇筑时，振动器不得碰撞预应力筋。混凝土未达到强度前，也不允许碰撞或踩动预应力筋。

当构件在台座上进行湿热养护时，应防止温差引起的预应力损失。先张法在台座上生产混凝土构件，其最高允许的养护温度应根据设计规定的允许温差（张拉与养护时的温度之差）计算确定。当混凝土强度达到 7.5N/mm^2（粗钢筋配筋）或 10N/mm^2（钢丝、钢绞线配筋）以上时，则可不受设计规定的温差限制。

9. 预应力筋的放张

混凝土强度达到设计规定的数值（不小于标准强度的 75%）后，才可放松预应力筋。放张顺序如下。

(1) 轴心受预压构件，所有预应力筋应同时放张。

(2) 偏心受预压构件，应先同时放张预压力较小区域的预应力筋，再同时放张预压力较大区域的预应力筋。

(3) 不能满足上述要求时，应分阶段、对称、交错地放张，防止构件在放张过程中产生弯曲、裂纹或预应力筋断裂。

放张方法如下。

(1) 当预应力筋采用钢丝时，配筋不多的中小型钢筋混凝土构件，钢丝可用砂轮锯或切断机切断等方法放松。

(2) 预应力筋为钢筋时，对热处理钢筋及冷拉Ⅳ级钢筋不得用电弧切割，宜用砂轮锯或切断机切断。数量较多时，也应同时放松。多根钢丝或钢筋的同时放松，可用油压千斤顶放张、砂箱放张、楔块放张等方法。

(3) 采用湿热养护的预应力混凝土构件，宜热态放松预应力筋，而不宜降温后再放松。

6.4.3 后张法预应力施工

后张法是先制作构件并预留孔道，待构件混凝土达到规定强度后，在孔道内穿入预应力筋，张拉并锚固，然后孔道灌浆。后张法不需要台座，构件在张拉过程中完成混凝土的弹性压缩。后张法广泛应用于现场生产的大型预应力构件和现浇混凝土结构中。

1. 后张法施工

图 6.22 为后张法工艺流程，图 6.24 为有黏结后张法工艺流程简图。



图 6.22　后张法工艺流程

2. 预应力筋制作

1）钢绞线

钢绞线是成盘状供应，不需要对焊接长。制作工序是开盘→下料→编束。

(1) 下料：钢绞线下料宜用砂轮切割机切割，不得采用电弧切割。

(2) 编束：钢绞线编束宜用 20 号铁丝绑扎，间距 2 ～ 3m，编束前先将钢绞线理顺，使各根钢绞线松紧一致。

(3) 钢绞线下料长度（图 6.23）：采用夹片锚具、穿心式千斤顶张拉时，按下式计算。

$$一端张拉：L=l+(l_1+l_2+l_3+100)$$

$$两端张拉：L=1+2\times(l_1+100)+l_2+l_3$$

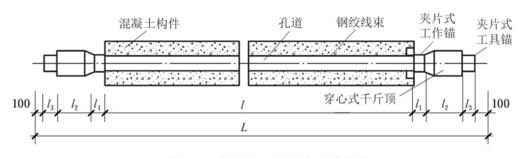


图 6.23　钢绞线下料长度计算简图

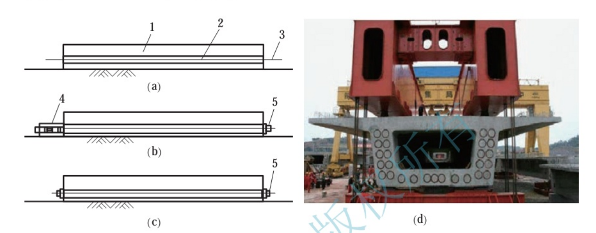
式中 L——构件的孔道长度；

l_1——夹片式工作锚厚度；

l_2——穿心式千斤顶长度；

l_3——夹片式工具锚厚度。

有黏结后张法工艺流程和实例如图 6.24 所示。



1—混凝土构件；2—预留孔道；3—预应力筋；4—张拉千斤顶；5—锚具

图 6.24 有黏结后张法工艺流程和实例

2）钢丝

（1）下料。消除应力钢丝放开后是直的，可直接下料。钢丝在应力状态下切断下料，控制应力为 300N/mm²。下料长度的误差要控制在 L/5000 以内，且不大于 5mm。较常采用的是“钢管限位法下料”。

（2）编束。为保证钢丝束两端钢丝排列顺序一致，穿束与张拉不致紊乱，钢丝必须编束。钢丝编束可分为空心束和实心束，都需用梳丝板理顺钢丝，在距钢丝端部 5 ～ 10cm 处编扎一道。实心束工艺简单，空心束孔道灌浆效果优于实心束。

（3）下料长度（图 6.25）。采用钢质锥形锚具、锥锚式千斤顶张拉时，按下式计算。

$$两端张拉：L=l+2\times(l_1+l_2+80)$$

$$一端张拉：L=l+2\times(l_1+80)+l_2$$

1—混凝土构件；2—孔道；3—钢丝束；4—钢质锥形锚具；5—锥锚式千斤顶

图 6.25 采用锥形锚具时钢丝下料长度计算简图

3）粗钢筋

单根预应力钢筋一般张拉端均采用螺丝端杆锚具；而固定端除采用螺丝端杆锚具外，还可采用帮条锚具或镦头锚具。其制作工序是：配料→对焊→冷拉。

3. 孔道留设

预应力筋的孔道形状有直线、曲线和折线三种，其直径与布置根据构件的受力性能、张拉锚固体系特点及尺寸确定。

1）孔道直径

粗钢筋的孔道直径应比对焊接头外径或需穿过孔道的锚具、连接器外径大10～15mm；钢丝、钢绞线的孔道直径应比预应力束外径或锚具外径大5～10mm，且孔道面积宜为预应力筋净面积的3～4倍。

2）孔道布置

孔道至构件边缘的净距不小于40mm，孔道之间的净距不小于50mm；端部的预埋钢板应垂直于孔道中心线；凡需起拱的构件，预留孔道应随构件同时起拱。

3）孔道成型方法

孔道成型有钢管抽芯法、胶管抽芯法和埋管法。孔道成型的要求：孔道的尺寸与位置正确，孔道平顺，接头不漏浆。

4）灌浆孔、排气孔与泌水孔

在孔道留设的同时应留设灌浆孔和排气孔。

4. 预应力筋穿入孔道

预应力筋穿入孔道：按穿筋时机分为先穿束和后穿束；按穿入数量分为整束穿和单根穿；按穿束方法分为人工穿束和机械穿束。

先穿束在混凝土浇筑前穿束，省力，但先穿束占用工期，预应力筋保护不当易生锈；后穿束在混凝土浇筑后进行，不占用工期，穿筋后即进行张拉，但较费力。

长度在50m以内的两跨曲线束，多采用人工穿束；对超长束、特重束、多波曲线束应采用卷扬机穿束；目前穿束机穿束在越来越多的工程中得到应用。

5. 预应力筋张拉

1）准备工作

(1) 块体拼装：分段制作的构件在张拉前完成拼装。

(2) 混凝土强度检验：混凝土强度应满足设计要求，设计无要求时应不低于设计强度的75%，块体拼装立缝处的混凝土或砂浆强度不低于混凝土强度的40%，且不得低于15N/mm^2。

(3) 构件端头清理。

(4) 搭设张拉台，安装锚具与张拉设备。

2）张拉方式

根据构件的特点、预应力筋的形状和长度及施工方法，预应力筋张拉有以下几种张拉方法。

(1) 一端张拉方式：张拉设备放在构件的一端进行张拉，适用于长度不大于30m的直线预应力筋与锚固损失影响长度 $L_f \geq 0.5L$（L 为预应力筋长度）的曲线预应力筋。

(2) 两端张拉方式：张拉设备放在构件的两端进行张拉，适用于长度大于30m的直线预应力筋与锚固损失影响长度 $L_f < 0.5L$ 的曲线预应力筋。

(3) 分批张拉方式：对配有多束预应力筋的构件分批进行张拉，由于后批预应力筋张拉所产生的混凝土弹性压缩对先批张拉的预应力筋造成预应力损失，所以先批张拉的预应力筋应加上该弹性压缩损失值，使分批张拉的每根预应力筋的张拉力基本相等。

(4) 分段张拉方式：在多跨连续梁板施工时，通长的预应力筋需要逐段进行张拉，第二段及后段的预应力筋利用锚头连接器与前段预应力筋进行接长。

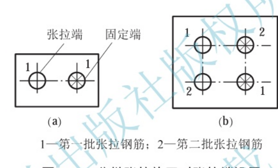
(5) 分阶段张拉方式：为平衡各阶段的不同荷载，采取分阶段逐步施加预应力的方式。

(6) 补偿张拉方式：在早期预应力损失基本完成后，再进行张拉的方式。

3) 张拉顺序

(1) 张拉顺序的确定原则：①不使混凝土产生超应力；②构件不扭转、侧弯，结构不变位；③张拉设备的移动次数最少。所以，张拉宜对称进行。

(2) 受拉构件的对称张拉：对配有多束预应力筋的构件或结构可分批进行张拉。如图 6.26 所示为分批张拉施工时张拉端设置。



1—第一批张拉钢筋；2—第二批张拉钢筋

图 6.26 分批张拉施工时张拉端设置

(3) 受弯构件的分批张拉：预应力筋为四束超过 40m 的双跨曲线钢绞线束，分两批张拉，用两台千斤顶分别设在梁的两端，按左右对称各张拉一束，待两批四束均进行一端张拉后，再分批在另一端进行补张拉。

(4) 平卧重叠构件张拉：现场平卧重叠制作的后张法预应力构件，其张拉顺序宜先上后下逐层进行，为减少上下层之间因摩擦力引起的预应力损失，应视预应力筋和隔离剂的类别逐层加大张拉力。

4) 张拉注意事项

(1) 当两端同时张拉一根预应力筋时，宜先在一端张拉、一端锚固，再在另一端张拉，补足张拉力后锚固。

(2) 为解决混凝土弹性压缩损失问题，可采用同一张拉值，逐根复拉，补足张拉力。

(3) 对于重要预应力混凝土构件，可分阶段建立预应力，即全部预应力先张拉 50% 之后，再第二次拉至 100%。

5) 张拉程序

预应力筋张拉操作程序，根据构件类型、张拉锚固体系、松弛损失等因素确定。

(1) 采用低松弛钢丝和钢绞线时，张拉程序为

$$0 \rightarrow P_j \text{ 锚固}$$

$$P_j=\sigma_{\text{con}}\times A_{\text{P}}\text{（预应力筋截面面积）}$$

(2) 采用普通松弛预应力钢筋时，按超张拉程序，即

对镦头锚具等可卸载锚具：

$$0 \rightarrow 1.05P_j \text{ 持荷 2min } P_j \text{ 锚固}$$

对夹片锚具等不可卸载锚具：

$$0 \rightarrow 1.03P_j \text{ 锚固}$$

6）伸长值校核

校核伸长值可综合反映张拉力是否足够、孔道摩阻损失是否偏大、预应力筋是否有异常现象等。因此，张拉时应对伸长值进行校核，实际伸长值与计算伸长值的偏差大于±6% 时，应暂停张拉，在采取措施调整后，方可继续张拉。

6. 孔道灌浆

预应力筋张拉后，应尽快进行孔道灌浆，一方面可保护预应力筋以免锈蚀，另一方面可使预应力筋与混凝土有效黏结，控制超载时裂缝的间距与宽度，减轻梁端锚具的负荷情况。

灌浆料应采用强度等级不低于 32.5 级的普通硅酸盐水泥配制，水灰比不大于 0.45，搅拌 3h 后泌水率不宜大于 2%，且不应大于 3%。泌水应能在 24h 内全部重新被水泥浆吸收。灌浆用水泥砂浆的抗压强度不应小于 $30N/mm^2$。

灌浆前应全面检查构件孔道及灌浆孔、泌水孔、排气孔是否畅通，对抽芯成孔的孔道采用压力水冲洗湿润，对埋波纹管孔道可用压缩空气清孔。宜先灌下层孔道，后灌上层孔道。灌浆工作应缓慢均匀进行，不得中断，并应排气通顺，在出浆口冒出浓浆并封闭排气口后，继续加压至 $0.5 \sim 0.7N/mm^2$，稳压 2min，再封闭灌浆孔。

对孔道直径较大且不掺减水剂或膨胀剂进行灌浆时，可采取“二次压浆法” 或“重力补浆法”。超长孔道、大曲率孔道、扁管孔道、腐蚀环境的孔道可采用“真空辅助压浆法”。

7. 后张法施工注意事项

(1) 后张法预应力构件，断裂或滑脱的数量严禁超过同一截面预应力筋总根数的 3%，且每束钢丝不得超过一根（对于多跨双向连续板，其同一截面应按每跨计算）。

(2) 预应力筋张拉锚固后实际建立的预应力值与设计规定检验值的相对允许误差为±5%。同一检验批内抽查预应力筋总数的 3%，且不少于 5 束。

(3) 后张法预应力筋锚固后的外露部分宜用机械方法切割，其外露长度不宜小于预应力筋的 1.5 倍，且不小于 30mm。长期的锚具，可涂刷防锈油漆或用封端混凝土封裹。

(4) 现浇混凝土构件的侧模板宜在预应力张拉前拆除，底模支架拆除时，孔道灌浆强度不应低于 $15\ N/mm^2$。

(5) 金属波纹管或无黏结预应力筋铺设后，其附近不得进行电焊作业，否则应采取防护措施。

(6) 混凝土浇筑时，应防止振动器触碰金属波纹管、无黏结预应力筋或端部预埋件，不得踏压或撞碰预应力筋、钢筋支架。

6.4.4 无黏结预应力施工

无黏结预应力施工是在混凝土浇筑前将预应力筋铺设在模板内，然后浇筑混凝土，

待混凝土达到设计规定强度后进行预应力筋的张拉锚固的施工方法。

该工艺无须预留孔道及灌浆，预应力筋易弯成所需的多跨曲线形状，施工简单方便，最适用于双向连续平板、密肋板和多跨连续梁等现浇混凝土结构。

1. 无黏结预应力筋的制作

预应力筋主要采用钢绞线和高强钢丝，采用钢绞线时张拉端采用夹片式锚具（XM 型锚具），埋入端采用压花式埋入锚具；钢丝束的张拉端和埋入端均采用夹片式或镦头式锚具。

2. 无黏结预应力筋的铺设

无黏结筋通常在底部非预应力筋铺设后、水电管线铺设前进行，支座处负弯矩钢筋在最后铺设。无黏结筋应严格按照设计要求的曲线形状就位并固定牢靠，其竖向位置宜用支撑钢筋或钢筋马凳控制，保证无黏结筋的曲线顺直。经检查无误后，用铅丝将无黏结筋与非预应力筋绑扎牢固，防止钢丝束在浇筑混凝土过程中移位。

3. 无黏结预应力筋的张拉

无黏结预应力筋的张拉程序基本与有黏结后张法相同。图 6.27 所示为无黏结筋的板中张拉端。



图 6.27　无黏结筋的板中张拉端

无黏结预应力混凝土楼盖结构的张拉顺序，宜先张拉楼板，后张拉楼面梁。板中的无黏结筋可依次张拉，梁中的无黏结筋宜对称张拉。

板中的无黏结筋一般采用前卡式千斤顶单根张拉，并用单孔式夹片锚具锚固；无黏结曲线预应力筋长度超过 35m 时，宜两端张拉，超过 70m 时宜分段张拉。

4. 锚头端部处理

无黏结预应力钢丝束两端在构件上预留有一定长度的孔道，其直径略大于锚具的外径。钢丝束张拉锚固后端部便留下孔道，该部分钢丝没有涂层，应封闭处理以保护预应力钢丝。

无黏结预应力钢丝束锚头端部处理，目前常采用两种方法。

第一种方法是在孔道中注入油脂并加以封闭（图 6.28）。

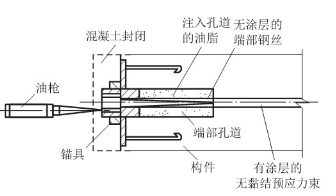
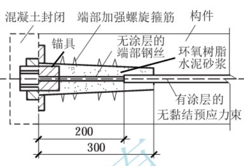


图 6.28　锚头端部油脂封闭

第二种方法是在两端留设的孔道内注入环氧树脂水泥砂浆，其抗压强度不低于35MPa。灌浆时同时将锚头封闭，防止钢丝锈蚀，同时也起一定的锚固作用（图 6.29）。预留孔道中注入油脂或环氧树脂水泥砂浆后，用 C30 级的细石混凝土封闭锚头部位。



(a)



(b)

图 6.29　锚头端部环氧树脂水泥砂浆封闭

本章小结

通过本章的学习，了解预应力混凝土的原理、施工方法及对材料的要求。了解先张法施工的概念，熟悉施工设备与机具、施工方法和技术要求；了解后张法施工的概念、施工设备与机具的性能及选用；掌握预应力筋的制作和配料计算；熟悉施工方法和技术要求。掌握无黏结预应力筋制作设备及工艺、注意事项及主要锚具；掌握无黏结预应力筋的布置及构造要求；掌握无黏结预应力混凝土的施工工艺。了解预应力混凝土现浇框架结构施工的施工工艺及流程。

习　　题

简答题

1. 什么叫做预应力混凝土？
2. 简述预应力钢筋所包含的范围。
3. 施加预应力的方法有几种？其预应力值是如何建立和传递的？
4. 如何对预应力钢筋进行检查？对预应力钢筋进行检查应包括哪些指标？
5. 预应力筋的张拉设备包括哪些？
6. 简述先张法和后张法的步骤。区分两者的不同及各自的适用范围。
7. 先张法放松预应力筋时，应注意哪些问题？
8. 后张法施工时孔道的留设方法有哪几种？各适用什么范围？留设孔道时应注意哪些问题？
9. 无黏结预应力筋的施工特点是什么？如何进行无黏结预应力筋的施工？
10. 预应力框架结构施工顺序有哪两种？如何进行施工？

第7章

结构安装工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
起重机械与设备	了解	起重安装机械以及索具设备
单层工业厂房结构安装	掌握	吊装前的准备工作以及吊装工艺
装配式框架混凝土结构安装方案	重点掌握	起重机的选择与布置、构件现场安排、结构安装方案、结构构件安装
空间网架结构安装	掌握	各种空间网架结构安装的方法以及其试用条件
钢结构工程	掌握	钢结构构件制作、构件的连接与拼装、钢结构安装

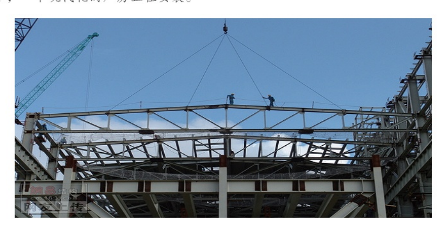
本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
起重机的选择	掌握	根据起重量、起重高度、起重半径合理地选用起重机
构件的平面布置及运输堆放	掌握	采用合理的构件平面布置与运输堆放方案,使工程更加经济、顺利地完成



案例导航

如下图所示，一个现代化的厂房正在安装。





本章问题讨论

1. 组成厂房的构件分别有哪些?
2. 在吊车进行吊件的时候应注意的问题有哪些?
3. 如何合理地安排吊车的工作才能将工作顺利、安全地完成?

7.1 起重机械与设备

7.1.1 起重安装机械

1. 桅杆式起重机

桅杆式起重机制作简单、装拆方便、起重量较大（可达 100t 以上），能用于其他起重机械不能安装的一些特殊、大型构件或设备。其缺点是起重半径小、移动困难，需拉设较多的缆风绳。

常用的桅杆式起重机有独脚把杆、人字把杆、悬臂把杆和牵缆式把杆。

(1) 独脚把杆（图 7.1）：独脚把杆有木、钢管、型钢格构式三种。木独脚把杆由梢径 20 ～ 32cm 的独根圆木制成，现在已很少使用；钢管独脚把杆的起重量一般为 300kN，起重高度在 30m 以内；格构式独脚把杆的起重量可达 1000kN，起重高度达 60m。

(2) 人字把杆（图 7.2）：人字把杆由两根木或钢管、缆风、滑车组、导向滑轮组成，在人字把杆的顶部交叉处悬挂滑车组。把杆下端两脚的距离为高度的 1/3 ～ 1/2。缆风的数量根据起重量和起重高度决定，一般不少于 5 根。人字把杆的优点是侧向稳定性好、缆风较少；缺点是活动范围小，仅用于安装重型构件。

(3) 悬臂把杆（图 7.3）：是在独脚把杆的中部或 2/3 高度处装上一根起重臂，即成悬臂把杆。起重杆可回转和起伏变幅。悬臂把杆能获得较大的起重高度，起重杆能左右摆动 120° ～ 270°，适于吊装高度较大的构件。

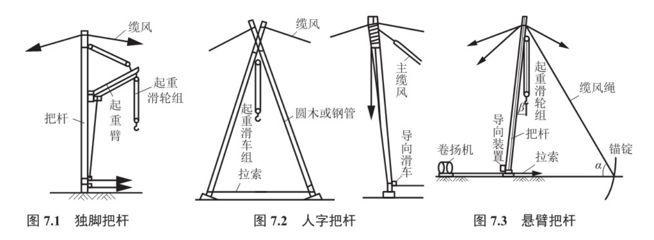


图 7.1 独脚把杆　　图 7.2 人字把杆　　图 7.3 悬臂把杆

(4) 牵缆式把杆（图 7.4）：是在独脚把杆的下端装上一根可 360° 回转和起伏的起重

杆而成。起重量在 10t 左右的桅杆起重机大多用无缝钢管制成，高度可达 25m；大型桅杆起重机采用格构式桅杆，下部设有专门行走装置（钢轨或滚筒），起重量可达 60t，桅杆高度可达 80m。缆风绳不少于 6 根。如图 7.4 所示。

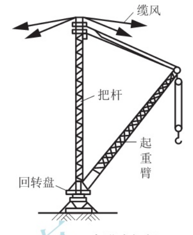


图 7.4 牵缆式把杆

2. 履带式起重机

履带式起重机由行走机构、回转机构、机身及起重臂组成。图 7.5 为履带式起重机构造简图；图 7.6 为中华第一吊——1600t 履带式起重机在天津投入使用。

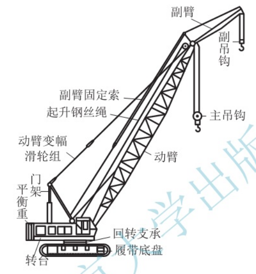
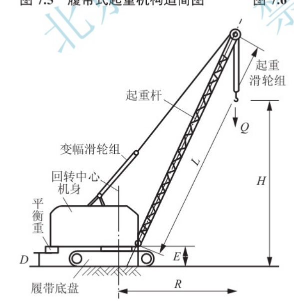


图 7.5 履带式起重机构造简图


图 7.6 中华第一吊——1600t 履带式起重机在天津投入使用



起重量 Q—所吊物件重量，不包括吊钩、滑轮组重量；
起重高度 H—起重吊钩中心至停机面的垂直距离；
回转半径 R—回转中心至吊钩的水平距离

图 7.7 履带式起重机的主要技术参数

1) 履带式起重机的特点

操作灵活、使用方便，起重臂可分节接长、机身可 360° 回转，在平坦坚实的道路上可负重行走，换装工作装置后可成为挖土机或打桩机使用，是一种多功能、移动式吊装机械。

履带式起重机的缺点：一是行走速度慢，对路面破坏性大，长距离转移需平板拖车运输；二是稳定性较差，未经验算不得超负荷吊装。

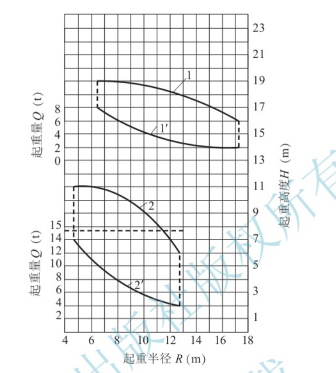
2) 主要技术参数（图 7.7）

三个参数的关系：当起重臂长度一定时，随着仰角的增加，起重量和起重高度增加，而起重半径减小；当起重臂仰角不变时，随着起重臂长度的增加，起重半径

和起重高度增加，而起重量减小。

3）起重机械的选择

一般根据构件重量和安装高度查找起重设备的性能表或性能曲线（图 7.8）。



1、1′—L=23m R–H 曲线、Q–R 曲线；2、2′—L=13m R–H 曲线、Q–R 曲线

图 7.8　W1-100 型履带式起重机性能曲线

4）履带式起重机的安全规定

（1）起重吊钩中心与臂架顶部定滑轮之间的最小安全距离一般为 2.5 ～ 3.5m。

（2）起重机工作时的地面允许最大坡度不应超过 3°。

（3）起重臂杆的最大仰角一般不得超过 78°。

（4）起重机不宜同时进行起重和旋转操作，也不宜边起重边改变起重臂的幅度。

（5）起重机如需负载行走，荷载不得超过允许起重量的 70%。

（6）起重机在松软土壤上工作时，应采用枕木或路基箱垫好道路。

（7）起重机在进行超负荷吊装或接长臂杆时，需进行稳定性验算。不满足验算时可考虑增加平衡配重、设置临时性缆风绳等措施加强起重机的稳定性。

3. 汽车式起重机

汽车式起重机是一种使用汽车底盘的轮式起重机，广泛用于构件装卸和结构吊装，灵活性好、转移迅速、对道路无损伤。

汽车式起重机多为液压式伸缩臂，按起重量分为轻型（20t 以内）、中型（20 ～ 50t）和重型（50t 以上）。图 7.9（a）所示为三一重工 QY52 汽车起重机；图 7.9（b）所示为中联重科 QY130H 汽车起重机。



(a) 三一重工 QY52 汽车起重机



(b) 中联重科 QY130H 汽车起重机

图 7.9 汽车式起重机

1) 注意事项

(1) 汽车式起重机作业前应伸出全部支腿，并在撑脚板下垫方木；调整支腿必须在无荷载时进行。

(2) 起吊作业时驾驶室严禁坐人，所吊重物不得超越驾驶室上空，不得在车的前方起吊。

(3) 发现起重机倾斜或支腿不稳时，立即将重物降落在安全地方，下降中严禁制动。

2) 中国起重量最大的汽车式起重机（图 7.10）



图 7.10 徐工 QAY500 全地面汽车起重机

（最大起重量 500t，主臂最大起升高度 84m）

4. 轮胎式起重机

轮胎式起重机是一种使用专用底盘的轮式起重机，横向稳定性好，能全回转作业，且在允许载荷下能负载行走。行驶速度慢，不宜长距离行驶，常用于作业地点相对固定而作业量较大的吊装作业。

轮胎式起重机作业时也要放出伸缩支腿以保护轮胎，必要时支腿下可加设垫块以扩大支承面。除全回转作业和允许载荷下负载行走外，其使用要点同汽车式起重机。

5. 塔式起重机

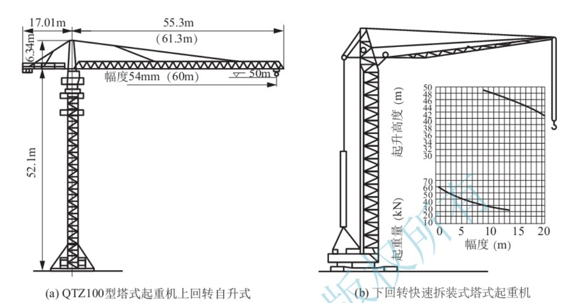
塔式起重机的起重臂安装在塔身顶部，可作 360° 回转，具有较高的起重高度、工作幅度和起重能力，在多层、高层结构的吊装和垂直运输中应用最广。图 7.11(a) 所示为 QTZ100 型塔式起重机上回转自升式；图 7.11(b) 所示为下回转快速拆装式塔式起重机。

1) 塔式起重机的分类及表示方法

(1) 分类：按行走方式分为轨道式、固定式（代号 G）；按变幅方法分为大臂变幅、小车变幅；按回转部位分为下（塔身）回转（代号 A）、上（顶部）回转；按安装方法分为自升式（代号 Z）、整体快速拆装（代号 K）、拼装式。

(2) 表示方法：Q—起重机；T—塔式；P—内爬升式；数字代表起重力矩（$kN \cdot m \times 10^{-1}$）。

举例：QT—上回转式塔式起重机；QTA—下回转式塔式起重机；QTK—快速安装式塔式起重机；QTP—内爬式塔式起重机；QTZ—上回转自升式塔式起重机。



(a) QTZ100型塔式起重机上回转自升式　　(b) 下回转快速拆装式塔式起重机

图 7.11　常见的塔式起重机

(3) 轨道式塔式起重机：能负荷行走，同时完成水平和垂直运输，且能在直线和曲线轨道上运行，使用安全、生产效率高，起重高度可按需要增减塔身、互换节架。其缺点是需铺设轨道，占用施工场地过大，塔架高度和起重量较固定式的小，如图 7.12 所示。



图 7.12　轨道式塔式起重机

(4) 附着式塔式起重机：在建筑物外部布置，塔身借助顶升系统向上接高，每隔 14 ～ 20m 采用附着式支架装置，将塔身固定在建筑物上。该起重机适用于与塔身高度适应的高层建筑施工。

(5) 内爬式塔式起重机：安装在建筑物内部电梯井或其他合适开间的结构上，随建筑物的升高向上爬升的起重机械。该起重机塔身短、不需铺设轨道和附着装置，不占施工场地。其缺点是全部荷载由建筑物承受，拆除时需在屋面架设辅助起重设施。该起重

机主要用于超高层建筑施工中。

2）塔式起重机的安装方法

根据起重机的结构形式、质量和现场情况确定，常用安装方法有整体自立法、旋转起扳法、立装自升法。同一台塔式起重机的拆除方法与安装相同、程序相反。如图 7.13 所示为塔式起重机的安装。


(a) 塔式起重机基础施工


(b) 起重臂的安装


(c) 平衡臂的安装

图 7.13　塔式起重机的安装

(1) 整体自立法（图 7.14）：本法适用于轻、中型下回转塔式起重机。

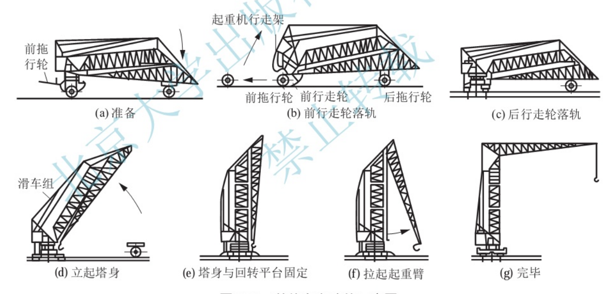


图 7.14　整体自立法的示意图

①拆除牵引杆，支起导轮架和滑轮架，进入安装准备状态。

②开动变幅卷扬机，使行走架缓慢倾斜，并使前行走轮落在轨道上，拆除前拖行轮。

③松开变幅卷扬机制动器，使后行走轮落在轨道上。

④开动变幅卷扬机，立起塔身。

⑤用销钉将塔身与回转平台连成一体。

⑥拆开固定起重臂的连接杆，开动变幅卷扬机，拉起起重臂至水平位置。

⑦松开夹轨钳、拆除拉板和千斤顶，对各机构进行检查和润滑，安装工作完毕。

(2) 旋转起扳法（图 7.15）：适用于需要解体转移而自升的塔式起重机。现场需轻型

汽车起重机配合。

①按要求铺设轨道并埋设地锚。

②安装行走台车、门架于轨道上，并安装压重。

③组装塔身并安置于起扳起始处，塔身下端与门架铰耳相连。

④组装起重臂，在其头部装上变幅拉杆，另一端通过拉索与地锚相连。

⑤安装起扳塔身滑车组、缆风绳。

⑥起扳竖立塔身。

⑦装平衡重。

⑧提升起重臂，穿绕变幅钢丝绳，安装完毕。

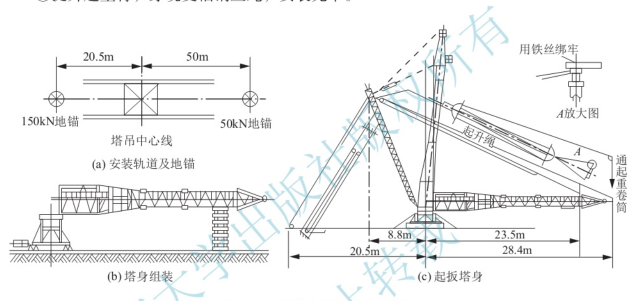


图 7.15　旋转起扳法的示意图

(3) 立装自升法：适用于自升式塔式起重机。即采用轻型起重机安装除中间节以外的全部部件，然后用塔式起重机自身的自升装置安装中间节。图 7.16 为立装自升法的示意图。

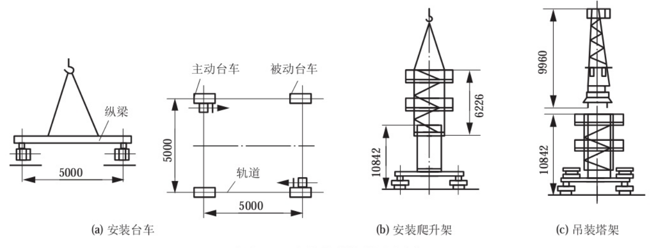


图 7.16　立装自升法的示意图

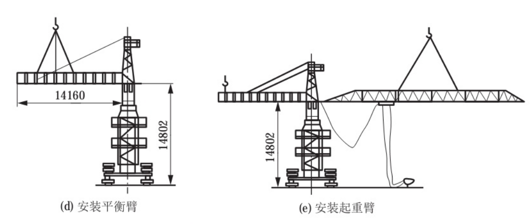


图 7.16 立装自升法的示意图（续）

3) 塔式起重机的附着

塔式起重机的塔身接高到设计规定的独立高度后，需用锚固装置将塔身与建筑物相连接（附着），以减小塔身的自由高度、保持塔式起重机的稳定性、提高起重能力。锚固装置由附着框架、附着杆和附着支座组成。图 7.17 为塔式起重机的附着装置构造。附着装置的布置方式、相互间距和附着距离按使用说明书规定执行。

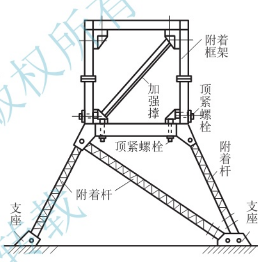


图 7.17 塔式起重机的附着装置构造

4) 塔式起重机的内爬升

内爬式塔式起重机是安装在建筑物内部（电梯井或其他部位）的结构上，依靠爬升机构随建筑物的建造而向上爬升的起重机，适用于框架、剪力墙结构的超高层建筑施工。图 7.18 为塔式起重机的爬升过程。

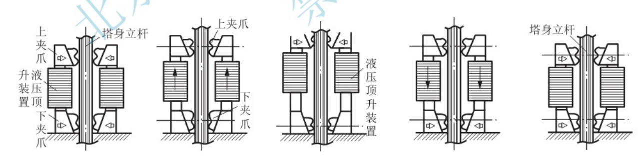


图 7.18 塔式起重机的爬升过程

5) 塔式起重机的安全规定

(1) 起重机应由受过专业训练的专职司机操作。

(2) 作业中遇六级及以上大风或雷雨天应立即停止作业、锁紧夹轨器，松开回转机构的制动器，起重臂能随风摆动；遇八级以上大风警报，应另拉缆风绳与地面或建筑物固定。

(3) 起重机必须有可靠接地，所有电气设备外壳都应与机体妥善连接。

(4) 起重机安装好后，应重新调试好各种安全保护装置和限位开关。

(5) 起重机行驶轨道不得有障碍或下沉，轨道末端 1m 处必须设有限位器撞杆和车挡。

(6) 起重机必须严格按额定起重量起吊，不得超载，不准吊运人员、斜拉重物、拔除地下埋物。

(7) 夜间作业应有足够的照明。

(8) 作业后，起重机应开到轨道中间停放，断开各路开关，切断总电源，打开高空指示灯。

7.1.2 索具设备

1. 卷扬机

建筑施工中常用的卷扬机分为快速和慢速两种。快速卷扬机又分为单筒和双筒两种，起重能力为 0.5 ～ 50kN，速度为 20 ～ 43m/min；慢速卷扬机多为单筒，起重能力为 3 ～ 20kN，速度为 8 ～ 9.6m/min。

1）卷扬机的固定方法

卷扬机必须用地锚予以锚固，以防工作时发生滑动或倾覆。根据受力的大小，固定卷扬机的常用方法有螺栓锚固法、立桩锚固法、水平锚固法和压重锚固法。

2）卷扬机的布置

卷扬机的安装位置应使操作人员能看清指挥人员或起吊（拖动）的重物。卷扬机至构件安装位置的水平距离应大于构件的安装高度（即保证操作者的视线仰角不大于 45°）；为使钢丝绳能自动在卷筒上往复缠绕，应在卷扬机的正前方设置导向滑轮，滑轮至卷扬机的距离为卷筒宽度的 15 倍，以保证钢丝绳在卷筒边时与卷筒中垂线的夹角不大于 2°。

2. 滑轮组

滑轮组由一定数量的定滑轮和动滑轮以及穿绕的钢丝绳组成，具有省力和改变力的方向的功能。滑轮组负担重物的钢丝绳的根数称为工作线数，滑轮组的名称以滑轮组的定滑轮和动滑轮的数目来表示。定滑轮仅改变力的方向、不能省力，动滑轮随重物上下移动，可以省力。滑轮组滑轮越多，工作线数也越多，省力越大。

3. 钢丝绳

结构安装用的钢丝绳的规格有 6×19 和 6×37(6 股，每股由 19 根或 37 根钢丝捻成)，前者钢丝粗、较硬，不易弯曲，多用作缆风绳；后者钢丝细、较柔软，多用作起重吊索。

钢丝绳的安全系数如下。

(1) 作缆风绳：3.5。

(2) 用于人工起重设备：4.5。

(3) 用于电动起重设备：5 ～ 6。

(4) 作吊索且无弯曲时：6 ～ 7。

(5) 作捆绑吊索：8 ～ 10。

(6) 用于载人的升降机：14。

4. 横吊梁

横吊梁常用于柱和屋架的吊装，用横吊梁吊柱易使柱身保持垂直、便于安装；用横吊梁吊屋架，可降低起吊高度，减少吊索的水平分力对屋架的压力（图 7.19 为常用的横吊梁）。



(a) 钢管横吊梁　(b) 钢板横吊梁　(c) 滑轮横吊梁

图 7.19　常用的横吊梁

5. 其他吊装工具

图 7.20 为其他吊装工具。

(a) 环链电动葫芦　(b) 手扳葫芦　(c) 钢丝绳吊索

(d) 卡环（卸甲、卸扣）　(e) 钢丝绳成套吊具

图 7.20　其他吊装工具

6. 吊装工程“十不吊”

(1) 超负荷不吊。

(2) 歪拉斜吊不吊。
(3) 指挥信号不明不吊。
(4) 安全装置失灵不吊。
(5) 重物起过人头不吊。
(6) 光线阴暗看不清不吊。
(7) 埋在地下的物件不吊。
(8) 吊物上站人不吊。
(9) 捆绑不牢不稳不吊。
(10) 重物边缘锋利无防护措施不吊。

7.2 单层工业厂房结构安装

7.2.1 吊装前的准备工作

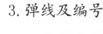
吊装前的准备工作主要包括场地清理、构件的检查、弹线及编号、基础准备等工作。

1. 场地清理

根据施工平面图的要求，在起重机进场前，标出起重机的开行线路和构件堆放位置，清理场地，平整及压实道路，做好场地排水措施，以利于起重机的外行和构件的堆放。

2. 构件的检查

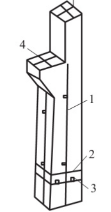
构件吊装前，需对构件的质量进行全面的检查。检查混凝土强度是否达到设计要求，若设计无要求时，不应低于设计强度的 75%；对于屋架和薄壁构件应达到 100%。预应力混凝土构件孔道灌浆的强度不应低于 15N/mm^2。检查构件的外形和截面尺寸、预埋件及吊环的位置与规格应符合设计的要求。



3. 弹线及编号

构件在吊装前要在构件表面弹线，作为吊装、对位、校正的依据。具体要求如下。

(1) 柱子。在柱身的三个面上弹出几何中心线；在柱顶与牛腿上弹出屋架及吊车梁的安装中心线；还应在柱身上标出基础顶面线。图 7.21 为柱子弹线图。



1—柱中心线；2—地坪标高线；3—基础顶面线；4—吊车梁顶面线；5—柱顶中心线

图 7.21 柱子弹线图

(2) 屋架。在屋架上弦弹出几何中心线，并从跨中向两端标出天窗架、屋面板的安装控制线；在屋架端头弹出安装中心线。

(3) 吊车梁。在吊车梁两端及顶面弹出安装中心线。

在对构件弹线的同时，应按设计图样对构件进行编号，避免搞错。对不易分辨上下、左右的构件，还应在构件上标明记号。

4. 基础准备

装配式钢筋混凝土柱基础一般设计成杯形基础，施工时杯底标高应比设计标高低 30 ～ 50mm。为了保证柱安装好后牛腿面的设计标高，在吊装前应对杯底标高进行一次调整。调整的方法是：测出杯底的实际标高，再量出柱脚底面至牛腿面的实际长度，算出杯底标高的调整值，在杯口侧面标出，然后用水泥砂浆或细石混凝土将杯口底垫平至标志处。此外，还要在杯口的面上弹出建筑结构的纵横定位轴线和柱的中心线位置，作为柱对位、校正的依据。

7.2.2 构件吊装工艺

混凝土结构需安装的构件有柱、吊车梁、屋架、屋面板、天窗架等。构件的吊装工序一般包括绑扎、起吊、对位、临时固定、校正和最后固定等。

1. 柱的吊装

柱的吊装有单机一点起吊（中小型柱）、两点起吊或双机抬吊（重型柱或配筋少而细长的柱）等方法。

1）柱的绑扎

柱的绑扎位置和点数根据柱的形状、断面、长度、配筋部位和起重机性能确定。自重 13t 以下的中小型柱常绑扎一点，重型柱或配筋少而细长的柱则需绑扎两点，甚至三点。

有牛腿的柱，一点绑扎的位置常选在牛腿以下，上柱较长时也可选在牛腿以上；工形断面柱的绑扎点应选在矩形断面处；双肢柱的绑扎点应选在平腹杆处。

(1) 斜吊绑扎法：当柱平卧起吊的抗弯刚度满足要求时采用斜吊绑扎法。此法柱无须翻身，起重钩低于柱顶，当柱身较长、起重机臂长不够时较为方便。但因柱身倾斜，起吊后柱身与杯底不垂直，对中就位较困难。图 7.22 为斜吊法绑扎示意图；图 7.23 为柱的斜吊绑扎法示意图。

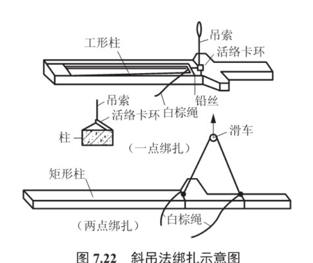


图 7.22 斜吊法绑扎示意图

图 7.23 柱的斜吊绑扎法示意图

(2) 直吊绑扎法：当柱平卧起吊的抗弯刚度不足时，需先将柱翻身后再绑扎起吊。此法吊索从柱两侧引出，上端通过卡环或滑轮挂在铁扁担上，柱身成垂直状态，便于插入杯口和对中校正，由于铁扁担高于柱顶，起重臂长度稍长。图 7.24 所示为柱的翻身和直吊绑扎法示意图。

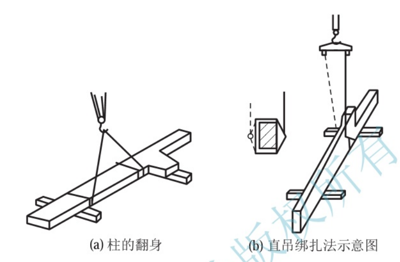
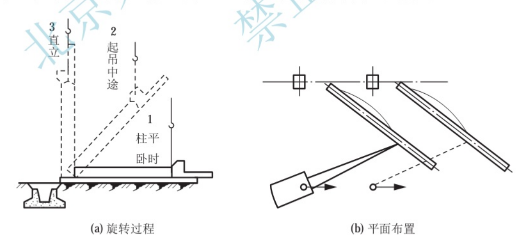

(a) 柱的翻身　　(b) 直吊绑扎法示意图

图 7.24　柱的翻身和直吊绑扎法示意图

2) 柱的起吊

单机吊装柱的常用方法有旋转法和滑行法；双机抬吊的常用方法有滑行法和递送法。

(1) 旋转法：柱布置时柱脚靠近杯口，柱的绑扎点、柱脚与杯口中心三者均位于起重半径的圆弧上（即三点共弧），起吊时，起重机边升钩、边回转，使柱绕柱脚旋转而成直立状态，吊离地面插入杯口。图 7.25 所示为旋转法吊柱示意图。



(a) 旋转过程　　(b) 平面布置

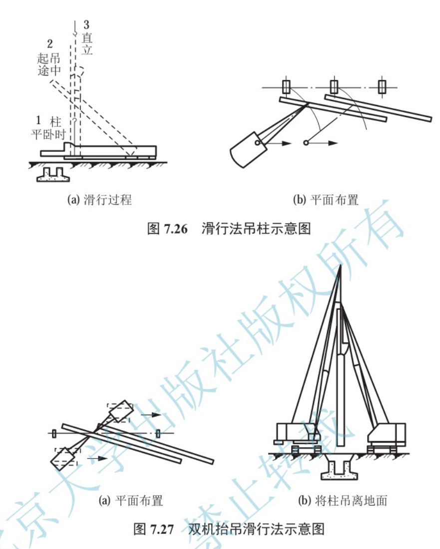
图 7.25　旋转法吊柱示意图

(2) 滑行法（单机）：柱布置时吊点靠近杯口，柱的绑扎点与杯口中心均位于起重半径的圆弧上（即两点共弧），起吊时，起重机只升钩、不回转，使柱脚沿地面滑行，至柱身直立吊离地面后插入杯口。图 7.26 所示为滑行法吊柱示意图。

(3) 滑行法（双机）：柱应斜向布置，起吊绑扎点应尽量靠近基础杯口。吊装步骤：柱翻身就位 →柱脚下设置托板、滚筒，铺好滑道 →两机相对而立、同时起钩将柱吊离地



面→同时落钩、将柱插入基础杯口。图 7.27 所示为双机抬吊滑行法示意图。



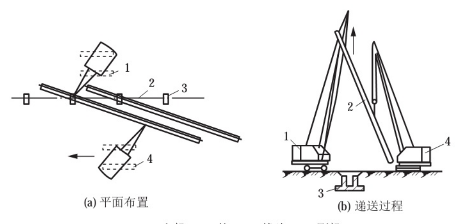
(a) 滑行过程　　(b) 平面布置

图 7.26　滑行法吊柱示意图

(a) 平面布置　　(b) 将柱吊离地面

图 7.27　双机抬吊滑行法示意图

(4) 递送法：柱斜向布置，起吊绑扎点尽量靠近杯口。主机起吊上柱，副机起吊柱脚。随着主机起吊，副机进行跑吊和回转，将柱脚递送至杯口上方，主机单独将柱子就位。图 7.28 所示为双机抬吊递送法示意图。



(a) 平面布置　　(b) 递送过程

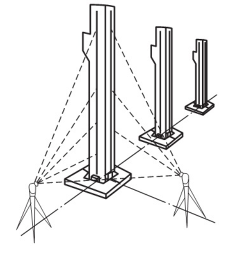
1—主机；2—柱；3—基础；4—副机

图 7.28　双机抬吊递送法

3）对位和临时固定

（1）对位：直吊法时，应将柱悬离杯底 30 ～ 50mm 处对位，斜吊法时则需将柱送至杯底，在吊索的一侧的杯口插入两个楔子，再通过起重机回转使其对位。对位时，在柱四周向杯口内放入 8 只楔子，用撬棍拨动柱脚，使吊装准线对准杯口上的吊装准线。

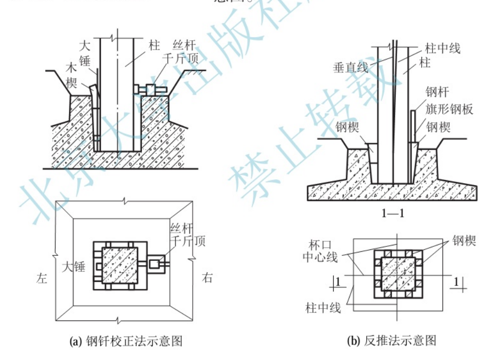
（2）临时固定：对位后，应将塞入的 8 只楔子逐步打紧作临时固定，以防对好线的柱脚移动。细长柱子的临时固定应增设缆风。


图 7.29　垂直度的校正

4）校正

标高校正在吊装前通过调整杯底标高已经校正；定位轴线校正通过对位在临时固定前已经校正。

柱的校正主要是垂直度的校正，用两台经纬仪从柱的两个垂直方向同时观测柱的正面和侧面的中心线进行校正（图 7.29）。柱的平面位置校正主要有钢钎校正法、反推法两种方法。图 7.30(a) 所示为钢钎校正法示意图；图 7.30(b) 所示为反推法示意图。



(a) 钢钎校正法示意图　　(b) 反推法示意图

图 7.30　柱的平面位置校正

5）最后固定

校正完后应及时在柱底四周与基础杯口的空隙之间浇筑细石混凝土，捣固密实，使柱完全嵌固在基础内作为最后固定。浇筑工作分两次进行，第一次浇至楔块底面，待混凝土强度达到设计强度的 25% 后，拔出楔块，第二次浇筑混凝土至杯口顶面。

2. 吊车梁的吊装

吊车梁的吊装必须在基础杯口二次灌浆的混凝土强度达到设计强度的 70% 以上方可

进行。吊车梁应两点绑扎、对称起吊，两端用溜绳控制；就位时缓慢落钩，一次对好纵轴线，避免在纵轴线方向撬动吊车梁而导致柱偏斜。吊车梁的标高误差可在轨道安装时调整。图 7.31 所示为吊车梁的安装。

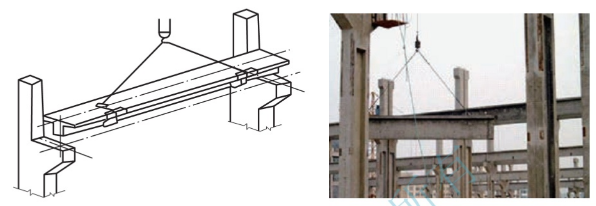


图 7.31　吊车梁的安装

3. 屋盖的吊装

1) 屋架的翻身扶直

屋架都平卧生产，吊装前必须先翻身扶直。由于屋架平面刚度差，翻身时易损坏，18m 以上的屋架应在屋架两端用方木搭设井字架，高度与下一榀屋架上平面同，以便屋架扶直后搁置其上。扶直方法有正向扶直和反向扶直，应尽可能采用正向扶直。图 7.32 所示为屋架重叠生产的翻身扶直。

24m 以上的屋架当验算抗裂度不够时，可在屋架下弦中节点处设置垫点，使屋架在翻身过程中下弦中节点始终着实。扶直后，下弦的两端应着实、中部则悬空，因此中垫点的厚度应适中。屋架高度大于 1.7m 时，应加绑木、竹或钢管横杆，以加强屋架平面刚度。图 7.33 所示为屋架的绑扎加固。

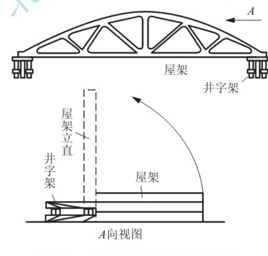


图 7.32　屋架重叠生产的翻身扶直

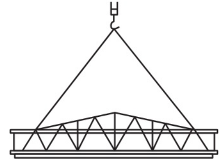
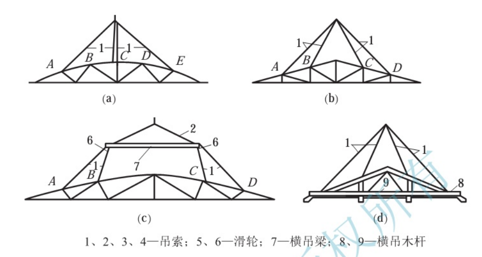


图 7.33　屋架的绑扎加固

2) 屋架的绑扎方法

屋架绑扎点应设在上弦节点处，左右对称。吊点的数目及位置一般由设计确定，设

计无规定时应经吊装验算确定。当屋架跨度不大于 18m 时，采用两点绑扎；屋架跨度为 18 ～ 24m 时，采用四点绑扎；跨度为 30 ～ 36m 时，采用 9m 横吊梁、四点绑扎。吊索与水平面的夹角不小于 45°。图 7.34 为屋架翻身和吊装的绑扎方法。



1、2、3、4—吊索；5、6—滑轮；7—横吊梁；8、9—横吊木杆

图 7.34　屋架翻身和吊装的绑扎方法

3）屋架的吊升

屋架起吊后保持水平、不晃动、倾翻，吊离地面 50cm 后将屋架中心对准安装位置中心，然后徐徐垂直升钩，吊升超过柱顶约 30cm，用溜绳旋转屋架使其对准柱顶，落钩时应缓慢进行，并在屋架接触柱顶时即刹车进行对位。图 7.35 所示为升钩时屋架对准跨度中心。

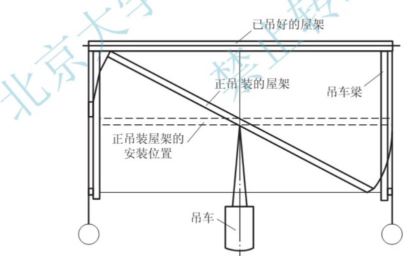
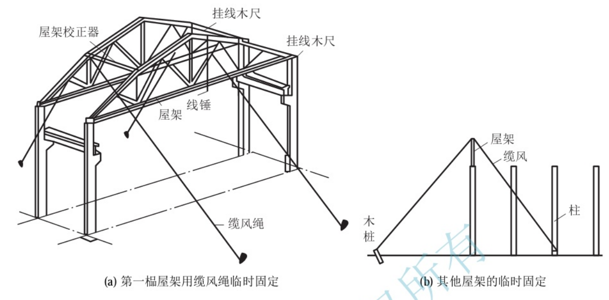


图 7.35　升钩时屋架对准跨度中心

4）对位及临时固定

屋架对位应以定位轴线为准。第一榀屋架就位后在其两侧用四根缆风绳临时固定，并用缆风绳来校正垂直度。其他屋架用两根屋架工具式校正器撑牢在前一榀屋架上。15m 跨以内的屋架用 1 根校正器，18m 以上的屋架用 2 根校正器。临时固定稳妥后吊车方能脱钩。图 7.36(a) 为第一榀屋架用缆风绳临时固定；图 7.36(b) 为其他屋架的临时固定。



(a) 第一榀屋架用缆风绳临时固定　　(b) 其他屋架的临时固定

图 7.36　屋架的固定

5）校正与最后固定

屋架的垂直偏差可用锤球或经纬仪检查，在屋架的中间和两端设置三处卡尺。挑出屋架中心线 50cm，观测三个卡尺的标志是否在同一垂直面上，存在误差时，转动工具式屋架校正器上螺栓加以校正，在屋架两端的柱底上嵌入斜垫铁。校正无误后立即用电焊固定，焊接时应在屋架的两侧同时对角施焊，不得同侧同时施焊。图 7.37 为屋架校正器；图 7.38 为屋架垂直度校正。

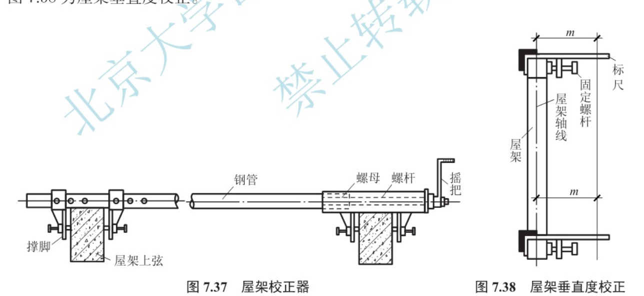


图 7.37　屋架校正器　　**图 7.38　屋架垂直度校正**

4. 天窗架、屋面板吊装

天窗架一般单独吊装，也可与屋架拼装成整体同时吊装（图 7.39）。单独吊装时，应待屋架两侧屋面板吊装后进行，采用两点或四点绑扎，并用工具式夹具或圆木进行临时加固。

屋面板多采用一钩多块叠吊或平吊法，以发挥起重机的效能（图 7.40）。吊装顺序为：由两边檐口开始，左右对称逐块向屋脊安装，避免屋架承受半跨荷载。屋面板对位后应

立即焊接牢固，每块板不少于三个角点焊接。

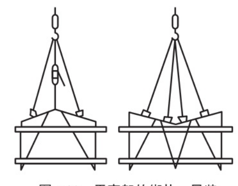


图 7.39　天窗架的绑扎、吊装

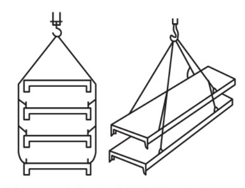


图 7.40　多块屋面板叠吊的示意图

5. 结构吊装方案

结构吊装方案的内容包括起重机的选择、单位工程吊装方法和主要构件吊装方法的选择、吊装工程顺序安排和构件平面布置等问题。

1) 起重机的选择

包括起重机的类型选择、起重机型号选择和起重机数量的确定。图 7.41(a) 为加藤全液压汽车起重机；图 7.41(b) 为三一重工履带起重机。



(a) 加藤全液压汽车起重机



(b) 三一重工履带起重机

图 7.41　起重机

选择起重机类型需综合考虑的因素如下。

(1) 结构的跨度、高度、构件重量和吊装工程量。

(2) 施工现场条件。

(3) 工期要求。

(4) 施工成本要求。

(5) 本企业或本地区现有起重设备状况。

一般来说，吊装工程量较大的单层装配式结构宜选用履带式起重机；工程位于市区或工程量较小的装配式结构宜选用汽车式起重机；道路遥远或路况不佳的偏僻地区吊装工程则可考虑独脚或人字把杆或桅杆式起重机等简易起重机械。

对多层装配式结构，常选用大起重量的履带式起重机或塔式起重机；对高层或超高层装配式结构则需选用附着式或内爬式塔式起重机。

起重机型号的选择：选择原则为所选起重机的三个参数，即起重量 Q、起重高度 H、工作幅度（回转半径）R 均需满足结构吊装要求。

(1) 起重量：起重量应满足下式要求。

$$Q \geqslant Q_1+Q_2 \tag{7-1}$$

式中 Q——起重机的起重量（t）；

Q_1——构件重量（t）；

Q_2——索具重量（t）。

(2) 起重高度（图 7.42）：起重机的起重高度应满足下式要求。

$$H \geqslant H_1+H_2+H_3+H_4 \tag{7-2}$$

式中 H——起重机的起重高度（m），停机面至吊钩的距离；

H_1——安装支座表面高度（m），停机面至安装支座表面的距离；

H_2——安装间隙，视具体情况而定，一般取 0.2 ~ 0.3m；

H_3——绑扎点至构件起吊后底面的距离（m）；

H_4——索具高度（m），绑扎点至吊钩的距离，视具体情况而定。

(3) 起重半径。起重机可以不受限制地开到构件安装位置附近去，此时安装构件时，对起重半径没有要求。只需计算出起重量 Q 和起重高度 H，便可查阅起重机工作性能表或性能曲线去选择起重机型号及起重臂长，并可查到相应的起重半径 R，作为确定起重机开行路线及停机位置时的参考。

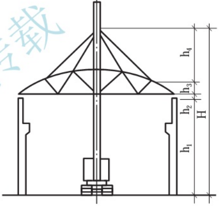


图 7.42 起重机的起重高度计算简图

某些情况下起重机不能直接开到构件安装位置附近去安装时，对起重半径就有一定要求。此时需根据起重量 Q、起重高度 H、起重半径 R 三个参数，查阅起重工作性能表或性能曲线去选择起重机的型号及起重臂长。要注意由于同一种型号的起重机可能具有几种不同长度的起重臂，所以应选择既能满足三个工作参数（Q、H、R）的要求，长度又是最短的起重臂。若各种构件安装工作参数相差过大，也可以选择几种不同长度的起重臂。

由于起重机的起重臂需跨过已安装好的构件去安装其他构件（例如跨过已安装好的屋架安装屋面板），故需防止起重臂与已安装好的构件相碰；或者由于所安装构件尺寸（或宽度）大，易与起重机相碰，所以需计算出起重机的最小臂长。最小臂长确定一般用数解法（图 7.43），其方法如下：

$$L \geqslant l_1+l_2=h/\sin\alpha+(a+g)/\cos\alpha \tag{7-3}$$

式中 L——起重臂的长度（m）；

h——起重臂底铰至构件吊装支座底的距离（m），为 $h+h_1-E$；

h_1——停机面至构件安装支座的距离（m）；

a——起重钩需跨过已安装结构的距离（m）；

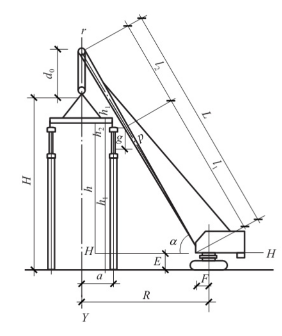


图 7.43 吊装屋面板时最小臂长确定

g——起重臂轴线与已吊装好构件轴线的水平距离 (m)，至少取 1m；

α——起重臂的仰角（°）；

E——起重杆底铰至停机面的距离 (m)。

为求解最小起重臂长，需对式 (7-3) 进行微分，并令 $\mathrm{d}L/\mathrm{d}\alpha=0$，即

$$\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}\alpha}=\frac{-h\cos\alpha}{\sin^2\alpha}+\frac{(a+g)\sin\alpha}{\cos^2\alpha}=0$$

解上式得：

$$\alpha=\arctan\sqrt[3]{\frac{h}{a+g}}$$

将 α 代入式 (7-3) 即可求得最小起重臂长。

2) 结构吊装方法

单层工业厂房的结构吊装有分件安装法和综合吊装法两种。

(1) 分件安装法（亦称大流水法）。起重机每开行一次，仅吊装一种或两种构件。

①第一次开行，吊完全部柱子，并完成校正和最后固定工作。

②第二次开行，安装吊车梁、联系梁及柱间支撑等。

③第三次开行，按节间吊装屋架、天窗架、屋面支撑及屋面板等。

分件安装法的优点：每次基本安装同类型的构件，索具不需经常更换，且操作方法基本相同，因而安装速度快，能充分发挥起重机的作用，提高其效率；构件的供应、堆放可分批进行，故现场平面布置比较简便；有足够的时间进行构件校正、固定。分件安装法的缺点是起重机开行线路长，停机点较多，不能为后续工序尽早提供工作面。

目前，我国装配式钢筋混凝土单层工业厂房，大多采用分件安装法。图 7.44 为分件安装法安装顺序。

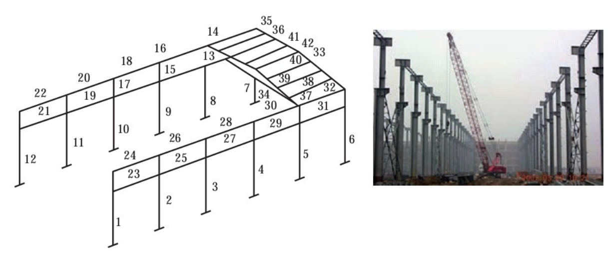


图 7.44 分件安装法安装顺序（图中数字表示安装顺序）

(2) 综合吊装法。综合吊装是指起重机每开行一次就安装完所在节间的全部构件，

即先安装完 1 ～ 2 个节间的 4 ～ 6 个柱子后，立即加以校正和最后固定，再安装此节间的吊车梁、连系梁、屋架和屋面板等构件。当全部安装完此节间的所有构件后，起重机再移至下一个节间进行安装。依此类推，直至整个厂房结构安装完毕。

综合吊装法的优点是起重机开行路线较短，停机点较少，可为后续工作尽早提供工作面，可缩短工期。其缺点是因为起重机同时安装此节间内不同类型的构件，且操作方法不尽相同，故安装速度较慢，不能充分发挥起重机的工作效率；同时各种构件供应、堆放、平面布置复杂，不便组织与管理；构件的校正比较困难。目前此法很少采用，只有某些特殊结构（如门式框架结构）或当采用桅杆式起重机移动不便时才采用。图 7.45 所示为综合安装法的构件安装顺序。

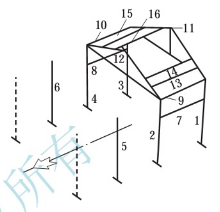


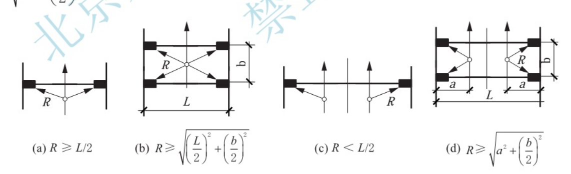
图 7.45　综合吊装法的安装顺序

3) 起重机的开行路线及停机位置

吊装屋架及屋面板时，起重机大多沿跨中开行。

吊装柱时，则应视跨度大小、构件尺寸、重量及起重机性能，可沿跨中开行或跨边开行。当柱布置在跨外时，起重机一般沿跨外开行，停机位置与跨边开行相似。

吊装柱子时，当起重半径 $R \geqslant L/2$（厂房跨度）时，起重机沿跨中开行，每个停机位可吊两根柱子 [图 7.46(a)]；当 $R \geqslant \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2+\left(\frac{b}{2}\right)^2}$ 时，则可吊四根柱子 [图 7.46(b)]；当 $R < L/2$ 时，起重机沿跨边开行，每个停机位可吊一根柱子 [图 7.46(c)]；当 $R \geqslant \sqrt{a^2+\left(\frac{b}{2}\right)^2}$ 时，则可吊两根柱子 [图 7.46(d)]。



(a) $R \geqslant L/2$　(b) $R \geqslant \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2+\left(\frac{b}{2}\right)^2}$　(c) $R < L/2$　(d) $R \geqslant \sqrt{a^2+\left(\frac{b}{2}\right)^2}$

图 7.46　起重机的开行路线

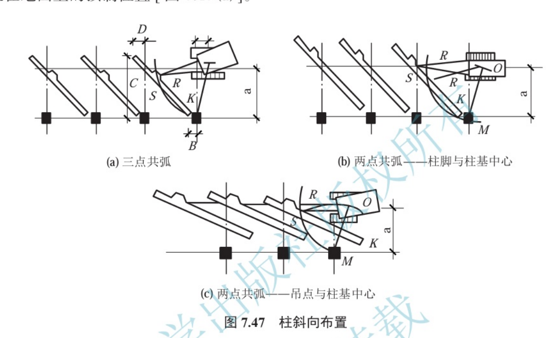
4) 构件的平面布置及运输堆放

单层厂房现场预制构件的布置是一项重要的工作，布置合理可避免构件在场内的二次搬运，充分发挥起重机械的效率。需在现场预制的构件主要是柱、屋架和吊车梁，其他构件可在构件厂或场外制作。

(1) 柱的布置：按安装方法、场地大小的不同，常见的有斜向布置和纵向布置两种。

①柱的斜向布置。当柱采用旋转起吊时，柱的布置常用斜向布置，即预制的柱子与厂房纵轴线成一倾角。常见的有三点共弧法，也可用两点共弧法。

a. 三点共弧法。此时柱用旋转法起吊。按旋转法起吊工艺要求，确定起重机开行路线到柱基中心线的距离 a，a 需满足条件：$R_{\min} \leqslant a \leqslant R_{\max}$，$R$ 为起重机的起重半径。这样能避免起重机离基坑太近而失稳，此外尽量避免起重机回转时，尾部与周围构件或建筑物相碰。按几何方法，以此确定起重机的停机位置。再按旋转法吊装柱的平面布置要求，使柱吊点、柱脚和柱基三者都在以停机点为圆心，以起重半径 $R_{\max}$ 为半径的圆弧上，确定柱在地面上的预制位置 [图 7.47(a)]。



(a) 三点共弧

(b) 两点共弧——柱脚与柱基中心

(c) 两点共弧——吊点与柱基中心

图 7.47　柱斜向布置

b. 两点共弧法。如果无法做到三点共弧（柱子太长或场地太小），可用两点共弧，将柱脚与柱基中心安排在起重半径 R 的圆弧上，而吊点在起重半径之外，或将吊点与柱基安排在起重半径 R 的圆弧上，柱脚可斜向任意方向 [图 7.47(b)、(c)]。

在进行柱的布置时，还需注意牛腿的朝向问题：当柱布置在跨内时，牛腿朝向起重机；当柱布置在跨外时，牛腿则应背向起重机。这样，保证吊装时方便、安全，并且柱吊装后，使其牛腿的朝向符合设计要求。

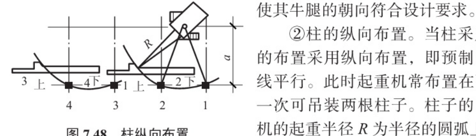


图 7.48　柱纵向布置

②柱的纵向布置。当柱采用滑行法吊装时，柱的布置采用纵向布置，即预制的柱子与厂房的纵轴线平行。此时起重机常布置在两柱基中间，每停机一次可吊装两根柱子。柱子的吊点常布置在以起重机的起重半径 R 为半径的圆弧上（图 7.48）。

(2) 屋架的预制布置：屋架一般在跨内平卧叠浇预制，每叠 3 ～ 4 榀，布置的方式有斜向布置、正反斜向布置及正反纵向布置三种（图 7.49）。一般情况下，常采用正面斜向布置，因为此种方式屋架便于扶直就位。其他两种布置方式只有当场地受限制时才考虑采用。

在确定屋架的预制位置时，还应考虑到屋架扶直就位要求及屋架扶直的先后顺序。一般先扶直者预制时应放在上层（面）。因屋架跨度大，故同时还应注意屋架两端的朝向，以免吊装时不便。

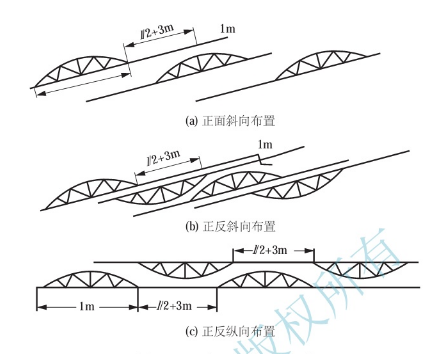


图 7.49　屋架预置的几种方式

(3) 屋架的扶直就位：屋架扶直后立即进行就位。屋架的预制位置与就位位置均在起重机开行路线的同一侧时，称为同侧就位；需将屋架由预制的一边转至起重机开行路线的另一边时，称为异侧就位。

①屋架的斜向就位。屋架的斜向就位用于重量较大的屋架，起重机定点吊装。图 7.50 所示为屋架的斜向就位位置。

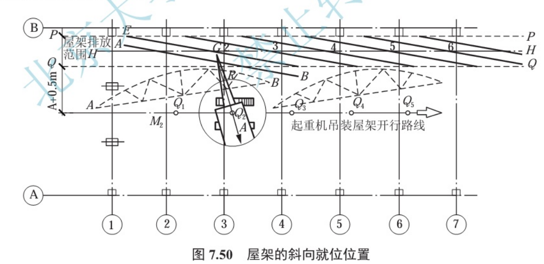


图 7.50　屋架的斜向就位位置

a. 确定起重机开行路线及停机点。起重机跨中开行，在开行路线上定出吊装每榀屋架的停机点，即以屋架轴线中点为圆心，以 $R[R > L/4+(A-B)/2+150\text{mm}]$ 为半径，A 为起重机机尾长，B 为柱宽，画弧与开行路线交于 O 点，即为停机点。

b. 确定屋架排放范围。先定出 P—P 线，该线距柱边缘不小于 200mm；再定 Q—Q 线，该线距开行路线不小于 A+0.5m；在 P—P 线与 Q—Q 线之间定出中线 H—H 线；屋架在 P—P、Q—Q 线之间排放，屋架中点均应在 H—H 线上。

c. 确定屋架排放位置。一般从第二榀屋架开始，以停机点 O_2 为圆心，以 R 为半径画弧交 H—H 于 G，G 即为屋架就位中心点。再以 G 为圆心，以 1/2 屋架跨度为半径画弧交 P—P、Q—Q 于 E、F，连接 E、F 即为屋架吊装位置，依此类推。第一榀屋架因有抗风柱，可灵活布置。

②屋架的纵向就位。屋架的纵向就位方式用于重量较轻的屋架，允许起重机吊装时负荷行驶。纵向排放一般以 4 榀为一组，靠柱边顺轴线排放，屋架之间的净距离不大于 200mm，相互之间用铁丝及支撑拉紧撑牢。每组屋架之间预留约 3m 间距作为横向通道。为防止在吊装过程与已安装屋架相碰，每组屋架的跨中要安排在该组屋架倒数第二榀安装轴线之后约 2m 处。图 7.51 为屋架的纵向就位位置。

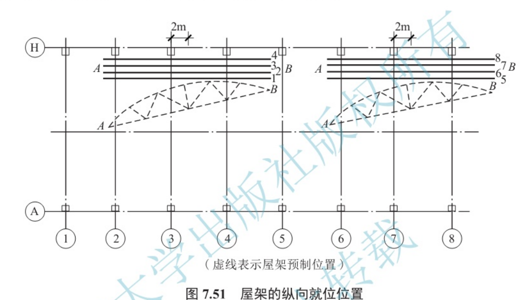


图 7.51 屋架的纵向就位位置

(4) 吊车梁、连系梁、屋面板的就位：吊车梁、连系梁的就位位置一般在其吊装位置的柱列附近，跨内跨外均可。当在跨内就位时，屋面板应后退 3 ～ 4 个节间开始堆放；若在跨外就位，屋面板应后退 1 ～ 2 个节间开始堆放。

构件应按吊装顺序及编号进行就位或集中堆放。梁式构件叠放一般 2 ～ 3 层，大型屋面板不超过 6 ～ 8 层。图 7.52 所示为屋面板吊装就位布置。

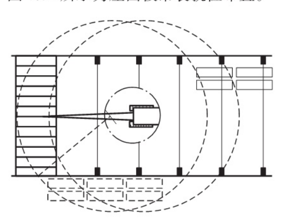


图 7.52 屋面板吊装就位布置

(5) 吊装前的构件堆放平面布置。图 7.53 为某车间预制构件平面布置图。

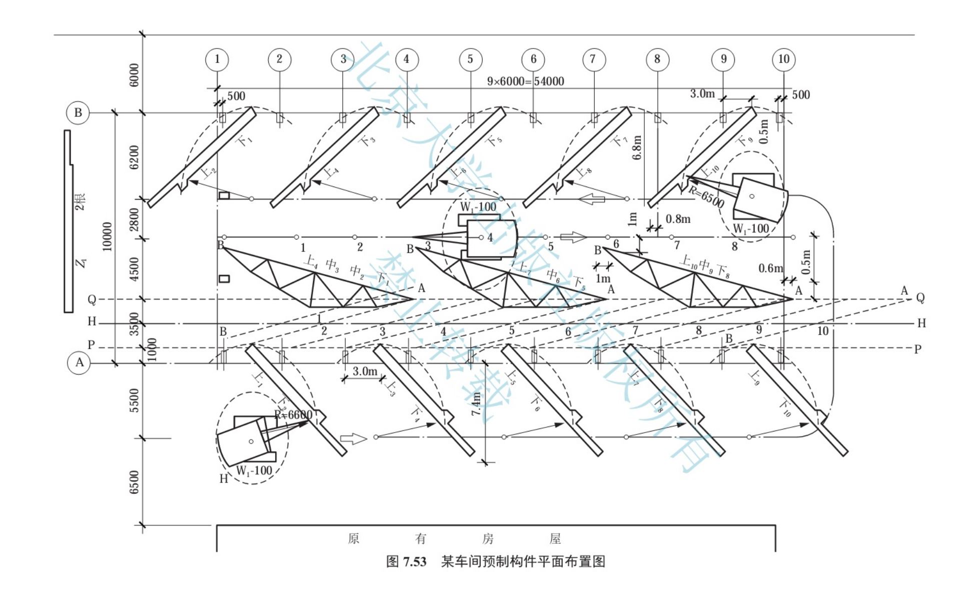


图 7.53 某车间预制构件平面布置图

6. 大跨度结构吊装

大跨度结构可分为平面结构和空间结构两大类。平面结构有桁架、刚架与拱等，空间结构则有网架、薄壳、悬索等结构。

(1) 分条（块）吊装法：是把网架分成条状或块状单元，分别吊装就位拼成整体的安装方法。图 7.54 为分条吊装法安装屋面钢结构（11 届全运会自行车场馆屋盖结构）。



图 7.54　分条吊装法安装屋面钢结构（11 届全运会自行车场馆屋盖结构）

(2) 整体吊装法：是将网架在地面错位拼装后，起重机吊装、高空旋转就位安装的方法。

(3) 高空滑移法：按滑移方式分为逐条滑移法和逐条累积滑移法两种；按摩擦方式可分为滚动式滑移和滑动式滑移两种。图 7.55 所示为五棵松体育馆屋盖桁架逐条累积滑移法。



图 7.55　五棵松体育馆屋盖桁架逐条累积滑移法

(4) 整体提升法：是在地面将承重结构拼装后，利用提升设备将其整体提升到设计标高安装就位。

(5) 整体顶升法：利用原有结构柱作为顶升支架，将大吨位千斤顶直接设在网架支座下面，顶升法适用于点支承网架，在顶升过程中只能垂直顶升，不能或不允许平移或转动。近年来，整体顶升法在桥梁顶升、电视塔天线桅杆顶升中得到广泛应用。

7.3 装配式框架混凝土结构安装方案

装配式钢筋混凝土框架结构构件一般在固定的工厂预制，然后运到现场进行安装。装配式框架结构的主要优点是构件质量好、施工速度快、生产效率高；自重轻、抗震性能好、现场湿作业少、受季节性影响小。但由于构件多、接头较复杂，所以需要配备相应的起重、运输和安装设备。

钢筋混凝土框架结构是多层和高层建筑的主要结构形式。由于多层装配式框架结构的施工构件类型多、数量大、接头复杂、技术要求高，因此，此结构安装方案应着重解决起重机械的选择与布置、预制构件的供应、现场构件的布置及结构安装方法等。其中，吊装机械选择是主导的，由于选用的起重机械不同，结构吊装方案也各异。

7.3.1 起重机械的选择与布置

1. 起重机械的选择

目前，装配式框架结构安装常用的起重机械有三类：自行式起重机、轨道式塔式起重机和自升式塔式起重机。

5 层以下的民用建筑和高度在 18m 以下的多层工业厂房及外形不规则的房屋，多采用自行式起重机。通常是跨内开行，用综合安装法进行安装。10 层以下或高度在 25m 以下，宽度在 15m 以内，构件质量在 2 ～ 3t 以内的装配式结构，一般可采用 QT1-6 型塔式起重机或具有相同性能的其他轻型塔式起重机。10 层以上的高层装配式结构，一般采用自升式塔式起重机。塔式起重机吊装效率高，不但能吊装所有的构件，同时还能吊运其他建筑材料；构件的现场布置也较灵活等，但其缺点是拆装费用高。

选择塔式起重机型号时，主要根据工程结构特点、平面尺寸、高度、构件重量和大小、现场实际条件、现有的技术力量和机械设备等选择。选择时，首先应分析结构情况，绘出剖面图，确定起重机的最高起升高度，在图上注明各种主要构件的重量 Q 及吊装时所需的起重半径 R（图 7.56）；然后根据起重机械性能，验算其起重量、起重高度和起重半径是否满足要求。

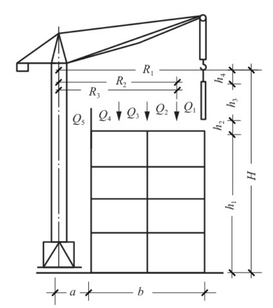


图 7.56　塔式起重机工作参数计算简图

2. 起重机械的布置

塔式起重机的布置由建筑物的平面形状、构件重量、起重机工作性能及施工现场环境条件等因素确定。其布置方式有单侧布置、双侧布置、跨内单侧布置、跨内环形布置（图 7.57）几种。

1）单侧布置

单侧布置是最常用的布置方案。该布置方案具有轨道长度较短，构件的堆放场地较宽等特点。

当建筑物的宽度小于 15m 或构件重量小于 30kN 时，采用单侧布置较合适。此时，塔式起重机的起重半径应满足下式条件：

$$R \geqslant a+b$$

式中　R——塔式起重机安装最远构件时的起重半径（m）；

a——建筑物外侧至塔轨中心线的距离（a=3 ～ 5m）；

b——建筑物宽度（m）。

2）双侧布置（或环形布置）

当单侧安装不能满足最远构件的安装要求，建筑物宽度大于 17m 或构件重量大于 30kN 时，可采用双侧布置。其起重半径应满足下式条件：

$$R \geqslant a+\frac{b}{2}$$

式中，R、a、b 含义同上。

3）跨内单侧布置

这种方案往往是因为场地狭窄，在房屋外侧不能布置起重机，或由于房屋宽度较大、构件较重时采用。其优点是可减少轨道长度，并节约施工用地。其缺点是只能采用竖向综合安装，结构稳定性差；构件多布置在起重半径之外，增加了二次搬运；对房屋外侧围护结构吊装也较困难；同时房屋的一端还应有 20 ～ 30m 的场地，作为塔式起重机装拆之用。

4）跨内环形布置

当房屋较宽、构件较重、起重机跨内单行布置不能起吊全部构件，而受场地限制又不可能跨外环形布置时，则宜采用跨内环形布置。

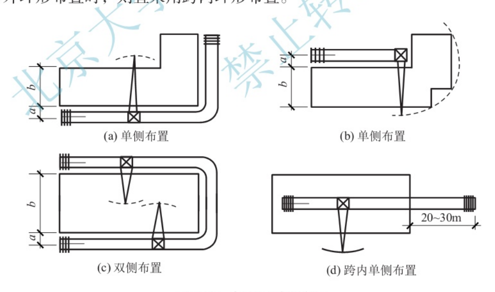


图 7.57　起重机械的布置

7.3.2　构件现场布置

构件现场布置是否合理，对提高吊装效率、保证吊装质量及减少二次搬运都有密切的关系。因此，构件现场布置是多层框架施工的重要环节之一。

布置原则如下。

(1) 尽可能布置在起重半径的范围内，以免二次搬运。

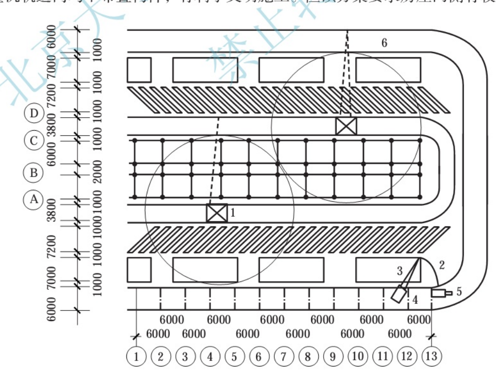
(2) 重型构件靠近起重机布置，中小型构件则布置在重型构件外侧。

(3) 构件布置地点应与吊装就位布置相配合，尽量减少吊装时起重机的移动和变幅。

装配式钢筋混凝土框架结构柱一般需在现场就地预制外，其他构件一般都在工厂集中预制后运往施工现场安装。所以，装配式框架结构构件的平面布置着重考虑的是如何解决柱的现场预制位置和预制构件运到现场后的堆放问题。

装配式框架结构柱长度较长、重量较大，布置构件时应优先考虑柱。装配式框架结构柱的布置方式与工程结构特点、所选用的起重机型号及起重机的布置方式有关。根据预制柱与起重机轨道不同的相对位置，其布置方式可分为平行布置、倾斜布置、垂直布置三种。平行布置是常用的布置方案。柱身与起重机轨道平行，柱可叠浇，为减少柱接头的偏差，可几层柱通长预制。倾斜布置适用于较长的柱。柱身与起重机轨道成一角度，用旋转法起吊。垂直布置适用于柱的吊点在起重机起重半径内且起重机跨中开行，此时柱身与轨道垂直。

图 7.58 所示是塔式起重机跨外环形吊装一栋六层房屋框架结构的构件布置方案。其中，全部柱分别在房屋两侧预制，靠塔式起重机轨道外侧倾斜布置，采用两层叠浇；为了减少柱的接头和构件数量，将六层框架柱分两节预制，梁、板和其他构件由工厂预制，用汽车运入现场，并配一台汽车式起重机卸车和堆放在柱的外侧。该布置方案的特点是重型构件（柱）布置靠近起重机，梁、板等轻型构件布置在外边，这样能充分发挥起重机的能力，柱的起重也较方便；全部构件均能位于起重机的有效工作范围内，房屋内部和塔式起重机轨道内均不布置构件，有利于文明施工。但该方案要求房屋两侧有较宽的场地。



1—塔式起重机；2—柱预制场地；3—梁、板堆放场地；4—汽车式起重机；5—载重汽车；6—临时道路

图 7.58 塔式起重机跨外环形构件布置



7.3.3 结构安装方案

装配式框架结构的安装方法也可分为分件安装法和综合安装法两种。

1. 分件安装法

分件安装法是装配式框架结构最常用的方法。分件安装法根据流水方式的不同，又可分为分层分段流水安装法和分层大流水安装法。

1）分层分段流水安装法

分层分段流水安装法是将建筑物划分为若干个施工层，每个施工层再划分成若干个施工段。起重机在每个施工段内按柱、梁、板的顺序分次进行安装，将该施工段内构件全部安装完毕，再转至另一个施工段，待每一个施工层各施工段构件全部安装完毕且固定后再安装上一层施工层构件。施工层的划分与预制柱的长度有关。预制柱是几个楼层一节，则以几个楼层为一个施工层（如柱是两个楼层一节，则以两个楼层为一个施工层）。一般在起重机起重能力允许的情况下，应加大柱的预制长度，减少施工层数，从而减少柱的接头个数，加快工程进度，提高结构安装的稳定性。施工段的划分与建筑物平面形状和尺寸、起重机的性能及其开行路线、各工序完成所需时间和所需临时固定设备的数量等有关。框架结构一般是 4 ～ 8 个节间为一个施工段。大型墙板房屋一般是 1 ～ 2 个居住单元为一个施工段。

2）分层大流水安装法

分层大流水安装法是每个施工层不再划分施工段，而是按每个楼层组织各工序的流水。此方法的特点是需要很多临时固定支撑。此法适用于建筑物面积不大的工程。分件大流水安装法的优点是便于安排构件的供应和现场布置工作；每次安装同类型构件，减少了起重机变幅和索具更换的次数，提高了安装效率；各工序的操作比较方便和安全，容易组织安装、校正、焊接、灌浆等工序的流水作业。

2. 综合安装法

综合安装法是以一个或若干个柱网（节间）作为一个施工段，以建筑物的全高作为一个施工层来组织各工序的流水施工。起重机将一个施工段的所有构件安装后，再转移至下一个施工段进行构件安装。

综合安装法在工程结构施工中很少采用。只有当出现在建筑物外侧不能安装塔式起重机、起重机只有当跨内布置才能满足安装要求时采用。综合安装法劳动强度大，工人操作上下频繁；结构的稳定性难以保证，施工管理与结构安装效率低，现场构件的供应与布置要求高且复杂。

7.3.4 结构构件安装

1. 柱子的安装与校正

1）柱子的安装

框架结构柱截面一般为方形或矩形，为了预制和安装的方便，各层柱截面应尽量保

持不变。而荷载的变化常以改变混凝土强度等级或配筋来协调。柱的预制长度常由所选起重机的型号而定。对于 4 ～ 5 层框架结构，一般采用履带式起重机进行安装，构件通常采用一节到顶的方案。此时，应注意柱与柱的接头宜设在弯矩较小的地方或柱节点处。当采用塔式起重机进行安装时，柱长以 1 ～ 2 层楼高为宜。

由于框架柱长细比过大，为防止安装过程中产生裂缝或断裂，所以安装时必须根据柱子的长度合理选择吊点位置和安装方法。当柱子长度小于 12m 时，常采用一点直吊绑扎；当柱子长度大于 12m 时，则可采用两点绑扎，并且必要时须进行吊装验算（吊装应力和抗裂度验算）；当柱子较长或质量较大时，可采用三点绑扎和起吊。柱子的起吊方法与单层工业厂房柱子的安装方法基本相同。

2）柱子的校正

柱子安装就位后需立即进行临时固定，目前工程上大多采用环式固定器或管式支撑进行临时固定。

柱的校正一般需要 3 次：第 1 次在脱钩后电焊前进行初校；第 2 次在接头电焊后进行校正，并观测由于钢筋电焊受热收缩不均匀而引起的偏差；第 3 次在梁和楼板安装后校正，以消除梁、柱接头因电焊产生的偏差。

柱的校正包括垂直度校正和水平度校正。其垂直度校正一般采用经纬仪、线锤进行。在柱的校正过程中，当垂直度和水平位移都有偏差，均需校正时，若垂直度偏差较大，则应先校正垂直度，然后校正水平位移，以减少柱顶倾覆的可能性。校正柱子时，应消除上、下节柱积累的偏差。

2. 梁、板的安装

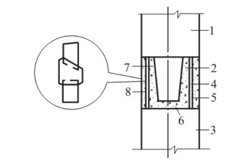
框架结构的梁有普通梁和叠合梁两种。多层框架结构的楼板一般根据跨度和楼面荷载来选择，可分为预应力空心板、预应力密肋楼板等。板一般都搁在梁上，用细石混凝土浇灌接缝，以增强其结构的整体性。梁、板的安装方法与单层工业厂房基本相同。

3. 构件接头处理

在多层和高层装配式框架结构中，构件接头的形式和质量直接关系整个结构的稳定性和刚度，因此选择构件接头形式，必须满足承载力和刚度的要求；在接头施工时，应保证钢筋焊接和一次灌浆质量。在多层框架结构中，主要是柱与柱的接头和梁与梁的接头。

1）柱与柱的接头

柱与柱的接头应保证柱与柱之间的纵轴压力、弯矩和剪力的相互传递，要确保柱接头及附近区段的强度大于或等于构件的强度。柱接头形式有榫接头、浆锚接头和插入式接头。其中，常用的是榫接头（图 7.59）。



1—上柱；2—上柱榫头；3—下柱；4—剖口焊；5—下柱外伸钢筋；6—砂浆；7—上柱外伸钢筋；8—后浇外接混凝土

图 7.59　榫接头

（1）榫接头。榫接头是预制柱时，上、下柱都向外伸出一定长度

（大于 25d）的钢筋，上节柱的下端做成突出的混凝土榫头状。安装柱子时，使上下柱伸出的钢筋对准，用剖口焊加以焊接。再用高强度水泥或微膨胀水泥拌制的细石混凝土（其强度比柱混凝土设计强度等级高 25%）进行灌筑。上层构件的安装，必须在接头混凝土强度达到设计强度的 75% 后才能进行。为确保施工质量，提高接头的整体性，柱预制时最好用连续通长钢筋或适当增加钢筋的外伸长度，减少焊接应力。同时要选择合适的焊接位置。这种接头形式耗钢量少，整体性好，安装、校正都方便。

(2) 浆锚接头。采用这种接头形式，柱的截面一般不小于 400mm×400mm。其方法是预制柱时，下节柱顶部预留四个浆锚孔，孔径为 4.0d（d 为锚固钢筋直径），孔为 350 ～ 750mm；相对的，在上节柱底部外伸 4 根长为 300 ～ 700mm 的锚固钢筋。安装上节柱之前，先对下节柱浆锚孔进行清理、疏通，灌入快凝砂浆，在其顶面满铺砂浆约 10mm 厚，再将上节柱的锚固钢筋插入柱内，使上、下柱连成整体。在实际工程中，也采用后灌浆或压浆法。

(3) 插入式接头。同样在预制柱时，将上节柱底部做成榫头，但下节柱顶部做成杯口。安装上节柱时，将上节柱榫头插入下节柱杯口，然后用水泥砂浆灌注，浇筑成整体。灌浆压力在 2 ～ 5kN/mm^2 之间。这种接头安装方便，不需电焊，适合于小偏心受压柱。若为大偏心受压柱，则必须采取相应的构造措施，防止受拉边产生裂缝。

2) 柱与梁的接头

框架结构中柱与梁的接头形式有明牛腿接头、暗牛腿接头、齿槽式接头和浇筑整体式接头等。其接头形式取决于结构受力情况，即由结构设计要求而定。最常用的接头形式是浇筑整体式接头。浇筑整体式接头是将梁与柱、柱与柱节点整体浇筑在一起。预制柱时，柱须每层一节，与榫接头相似。梁搁在柱上，梁底钢筋按锚固要求上弯或焊接。绑扎好节点箍筋，浇筑混凝土至楼板面；当混凝土强度达到 10kN/mm^2 时，再安装上节柱，安装上节柱时，上、下柱伸出钢筋搭接或单面焊接，再浇筑混凝土到上柱的榫头上方，并留 35mm 的间隙，用 1:1:1 的细石混凝土填缝。

7.4 空间网架结构安装

空间网架结构适用于大跨度结构屋盖，如飞机库、体育馆、展览馆等屋盖。空间网架结构的施工特点是跨度大、构件重、安装位置高。因此，合理地选择施工方案是空间网架结构施工的重要环节。

空间网架结构根据其结构形式和施工条件的不同，可选用高空散装法、分条或分块安装法、整体安装法、高空滑移法等进行安装。

7.4.1 高空散装法

空间网架结构用高空拼装法进行安装，是先在设计位置处搭设拼装支架，然后用起重机把网架构件分件（或分块）吊至空中的设计位置，在支架上进行拼装。高空散装法

适用于螺栓球节点或高强螺栓连接的各种类型网架，并宜采用少支架。因为焊接连接的网架采用高空散装法施工时，不易控制标高和轴线。高空拼装法不需大型起重设备，但拼装支架用量大，高空作业多。

用于高空散装法的拼装支架必须牢固，不宜采用竹、木材料，设计时应对单肢稳定、整体稳定进行验算，并估算其沉降量。沉降量不宜过大，并应采取措施，能在施工中随时进行调整。高空散装法要求支架沉降不超过 5mm。

螺栓球节点网架的安装精度由工厂保证，现场无法进行大量调整。高空拼装时，一般从一端开始，以一个网格为一排，逐排前进。拼装顺序为：下弦节点→下弦杆→腹杆及上弦节点→上弦杆→校正→全部拧紧螺栓。

网架结构总拼完成及屋面工程完成后，应分别测量其挠度值，且所测的挠度值不应超过相应设计值的 1.15 倍。测量挠度时，跨度 24m 及以下的钢网架结构，用钢尺和水准仪测量下弦中央一点；跨度 24m 以上的钢网架结构，测量下弦中央一点及各向下弦跨度的四等分点。

7.4.2 分条或分块安装法

分条（分块）吊装法是将网架从平面分割成若干条状或块状单元，每个条（块）状单元在地面拼装后，再由起重机吊装到设计位置总拼成整体。

条状单元一般沿长跨方向分割，其宽度为 1 ～ 3 个网格，其长度为短跨跨距或短跨跨距的一半。块状单元一般沿网架平面纵横向分割成矩形或正方形单元，每个单元的重量以现有起重机能胜任为准。条（块）与条（块）之间可以直接拼装，也可空一网格在高空拼装。由于条（块）状单元是在地面拼装，因而高空作业量较高空散装法大为减少，拼装支架也减少很多，又能充分利用现有起重设备，故较为经济。这种安装方法适用于分割后网架的刚度和受力状况改变较小的各类中小型网架，如两向正交正放四角锥、正放抽空四角锥等网架。

网架分割成条（块）状单元后，其自身应是几何不变体系，同时还应有足够的刚度，否则应采取临时加固措施。对于正放类网架，分成条（块）状单元后，一般不需要加固。但对于斜放类网架，分成条（块）状单元后，由于上（下）弦为菱形结构可变体系，必须加固后方可吊装。

条状单元在吊装就位过程中的受力状态属于平面结构体系，而网架是按空间结构设计的，因此条状单元在总拼前的挠度比形成整体网架后的挠度大，故在合拢前必须在中部用支撑顶起，调整其挠度时其与整体网架挠度符合。块状单元在地面拼成后，应模拟高空支承条件，观察其挠度，以确定是否要调整。条（块）状单元尺寸、形状必须准确，以保证高空总拼时节点吻合及减少积累误差，可采取预拼装或在现场临时配杆等措施解决。

图 7.60 为某体育馆斜放四角锥网架采用分块吊装的实例。该网架平面尺寸为 45m×36m，从中间十字对开分为四块（每块之间留出一节间），每个单元尺寸为 15.75m×20. 25m，重约 12t，用一台悬臂把杆在跨外移动吊装就位。就位时，利用网架中央搭设的井字架作临时支撑。

图 7.61 为某体育馆双向正交方形网架采用分条吊装的实例。该网架平面尺寸为 45m×45m，重 52t，分割成三条吊装单元，就地错位拼装后，用两台 40t 汽车式起重机抬吊就位。

1—悬臂把杆；2—井子架；3—拼装砖墩；4—临时封闭杆；5—吊点

图 7.60　分块吊装实例

图 7.61　分条吊装实例

7.4.3　整体安装法

整体安装法就是先将网架在地面上拼装成整体，然后用起重设备或千斤顶将其整体提升到设计位置上加以固定的方法。

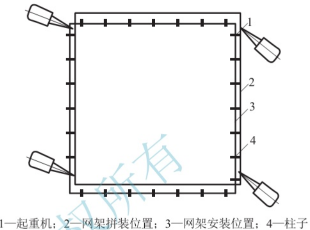
采用整体吊装法安装网架时，可以就地与柱错位总拼或在场外总拼，不需要高大的拼装支架，高空作业少，易保证焊接质量，此法适用于焊接连接网架。但这种方法需要起重量大的起重设备，技术较复杂。根据所用设备的不同，整体安装法又分为多机抬吊法、拔杆提升法、整体提升法与整体顶升法等。

1. 多机抬吊法

此法适用于高度和重量都不大的中小型网架结构。安装前，先在地面上对网架进行错位拼装（即拼装位置与安装轴线错开一定距离，以避开柱子的位置），然后用多台起重机（多为履带式起重机或汽车式起重机）将拼装好的网架整体提升到柱顶以上，在空

中移位后落下就位固定。

中小型网架多用四台履带式起重机（或汽车式、轮胎式起重机）抬吊。如网架重量较小，或四台起重机的起重量都满足要求时，宜将四台起重机布置在网架两侧（图 7.62），这样只要四台起重机同时回转，即完成网架空中移位的要求。多机抬吊的关键是各台起重机的起吊速度应一致，否则有的起重机会超负荷，网架受扭，焊缝开裂。为此，起吊前要测量各台起重机的起吊速度，以便起吊时掌握。当网架抬吊到比柱顶标高高出 30cm 左右时，进行空中移位，将网架移至柱顶之上。网架落位时，为使网架支座中线准确地与柱顶中线吻合，事先在网架四角各拴一根钢丝绳，利用倒链进行对线就位。



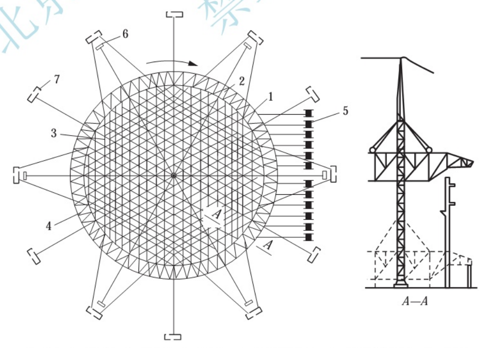
1—起重机；2—网架拼装位置；3—网架安装位置；4—柱子

图 7.62　起重机在两侧抬吊网架

2. 拔杆提升法

球节点的大型钢管网架的安装，可用拔杆提升法。采用拔杆提升法施工时，网架先在地面上拼装，然后用多根独脚拔杆将网架整体提升到柱顶以上，然后空中移位，最后落位安装。

起重设备的选择与布置是网架拔杆提升施工中的一个重要问题，包括拔杆选择与吊点布置、缆风绳与地锚布置、起重滑轮组与吊点索具的穿法、卷扬机布置等。如图 7.63 所示为某体育馆圆形三向网架，直径为 124.6m，重 600t，支承在周边 36 根钢筋混凝土柱上，采用 6 根拔杆整体吊装时的起重设备布置情况。



1—柱；2—网架；3—拔杆；4—吊点；5—起重卷扬机；6—校正卷扬机；7—地锚

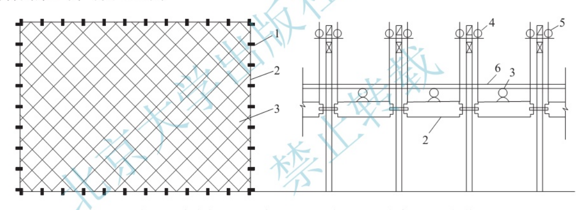
图 7.63　用 6 根拔杆整体吊装

网架吊点的布置与吊装方案和提升时网架的受力性能有关。在网架提升过程中，某些杆件的内力可能会超过设计时的计算内力或可能出现内力符号改变而使杆件失稳。因此，应经过网架吊装验算来确定吊点的数量和位置。不过，在起重能力、吊装应力和网架刚度满足的前提下，应当尽量减少拔杆和吊点的数量。网架吊装后，拔杆被围在网架中，宜采用倒拆法拆除，即在网架上弦节点处挂两副起重滑轮组吊住拔杆，然后由最下一节开始一节节拆除拔杆。

3. 整体提升法

整体提升法是将网架在地面上拼装后，利用提升设备将其整体提升到设计标高安装就位。随着我国升板、滑模施工技术的发展，现已广泛采用升板机和液压千斤顶作为网架整体提升设备，并创造了升梁抬网、升网提模、滑模升网等新工艺，开拓了利用小型设备安装大型网架的新途径。

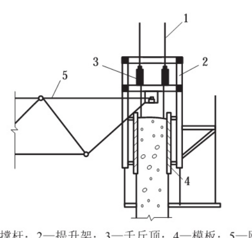
例如，某网架为 44m×60.5m 的斜放四角锥网架、重 116t，采用升梁抬网施工方案，该网架支承在 38 根钢筋混凝土柱的框架上，事先将框架梁按结构平面位置分间在地面架空预制，网架支座位于梁的中央，每根梁的两端各设置一个提升吊点，梁与梁之间用 10 号槽钢横向拉结，升板机安放在柱顶，通常吊杆与梁端吊点连接，在升梁的同时，梁也抬着网架上升（图 7.64）。



1—柱；2—框架梁；3—网架；4—工具柱；5—升板机；4—屋面板

图 7.64　升梁抬网工艺

图 7.65 是采用滑模升网的施工方法，网架支承在钢筋混凝土框架柱上，利用框架液压滑模同步、匀速、平稳的特点，作为整体提升网架的功能；利用网架的整体刚度和平面空间，作为框架滑模的操作平台。在完成框架滑模施工的同时，随之也就将网架提升就位。



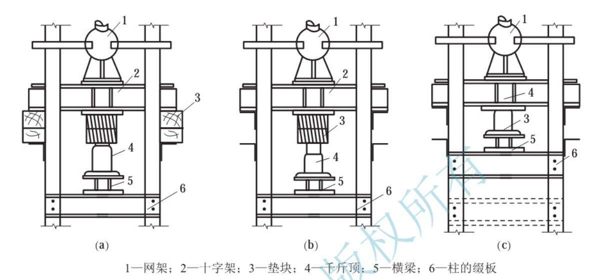
1—支撑杆；2—提升架；3—千斤顶；4—模板；5—网架

图 7.65　滑模升网法

4. 整体顶升法

整体顶升法是将网架在地面拼装后，用千斤顶整体顶升就位的施工方法。网架在顶升过程中，一般用结构柱作临时支承，

但也有另设专门支架的。图 7.66 为用结构柱作临时支承的顶升顺序，用千斤顶顶起搁置于十字架的网架 [图 7.66(a)]，移去十字架下的垫块 [图 7.66(b)]，装上柱的缀板，将千斤顶及横梁移至柱的上层缀板 [图 7.66(c)]，便可进行下一顶升循环。



1—网架；2—十字架；3—垫块；4—千斤顶；5—横梁；6—柱的缀板

图 7.66 网架顶升工艺

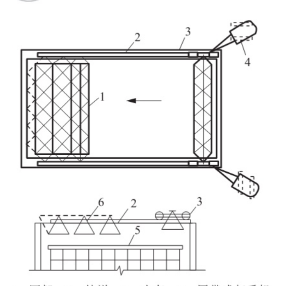
7.4.4 高空滑移法

高空滑移法施工是网架在建筑物顶板上设拼装平台进行拼装，待第一个拼装单元（或第一段）拼装完毕，将其下落至滑移轨道上，用牵引设备（多用人力绞磨）通过滑轮组将拼装好的网架向前滑移一定距离。接下来在拼装平台上拼装第二个拼装单元（或第二段），拼好后向前滑移，如此逐段拼装，不断向前滑移，直至整个网架拼装完毕并滑移至就位位置。高空滑移法按滑移方式分为逐条滑移法和逐条积累滑移法两种；按摩擦方式又分为滚动式滑移和滑动式滑移两类。

高空滑移法施工网架结构，由于网架拼装是在建筑顶板平台上进行，减少了高空作业的危险；与高空拼装法比较，拼装平台小，可节约材料，并能保证网架的拼装质量；由于网架拼装和滑移施工可以与土建施工平行流水和立体交叉，因而可以缩短整个工程的工期。高空滑移法施工设备简单，一般不需要大型起重安装设备、成本低。特别在场地狭小或跨越其他结构、设备等而起重机无法进入时更为合适。

图 7.67 是某剧院舞台屋盖 31.51m×23.16m 的正放四角锥网架，采用两台履带式起重机，将在地面拼装的条状单元分别吊至特制的小车上，然后用人工撬动，逐条滑移至设计位置。就位时，先用千斤顶顶起条状单元，撤出小车，随即下落就位。这是属逐条滑移的实例之一。

某体育馆斜放四角锥网架尺寸为 45m×45m，采用逐条积累滑移法施工，如图 7.68 所示。先在地面拼装成半跨的条状单元，然后用悬臂拔杆吊至拼装台上，组成整跨的条状单元，再进行滑移。当前一单元滑出组装位置后，随即又拼装另一单元，再一起滑移，如此每拼装完一个单元就滑移一次，直至滑移到设计位置为止。由于该网架是直接在支承结构的滑轨上滑移，故属于逐条积累滑动式滑移。滑移动力可为卷扬机牵引，也可用千斤顶。本例是采用两台同型号的 3t 卷扬机牵引。



1—网架；2—轨道；3—小车；4—履带式起重机；
5—脚手架；6—后装的杆件

图 7.67　逐条滑移法

1—网架；2—拖拉机；3—网架分块单元；4—悬臂拔杆；
5—牵引滑轮组；6—反力架；7—卷扬机；8—脚手架

图 7.68　逐条积累滑移

7.5 钢结构工程

钢结构是指以钢铁为基材，经机械加工组装而成的结构。建筑钢结构仅限于工业厂房、高层建筑、塔桅结构、桥梁等。钢结构具有强度高、结构轻、施工周期短、精度高等特点，在建筑、桥梁等土木工程中被广泛采用。图 7.69 为“鸟巢”的钢结构造型。

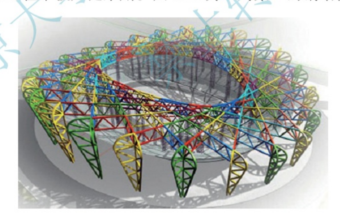


图 7.69　“鸟巢”的钢结构造型

7.5.1　构件制作

钢结构构件制作一般在工厂进行，包括放样、号料、切割下料、边缘加工、弯卷成型、折边、矫正、除锈、防腐与涂饰等工艺过程。

1. 放样与号料

1) 放样

放样是指根据产品施工详图或零、部件图样要求的形状和尺寸，按 1:1 的比例把产

品或零部件的实体画在放样台或平板上，求取实长并制成样板的过程。对复杂的壳体零部件，还需作图展开。有条件时应采用计算机辅助设计。

2）号料

根据样板在钢材上画出构件的实样，并打上各种加工记号，为钢材的切割下料做准备。

2. 切割下料

切割是将放样和号料的零件形状从原材料上进行下料分离。常用的切割方法有气割、机械剪切和等离子切割三种方法。

1）气割下料

利用氧气与可燃气体混合产生的预热火焰加热金属表面，达到燃烧温度并使金属发生剧烈的氧化，放出大量的热促使下层金属也自行燃烧，同时通以高压氧气射流，将氧化物吹除而形成一条狭小而整齐的割缝。

气割法有手动气割、半自动气割和自动气割三种。手动气割割缝宽度为 4mm，自动气割割缝宽度为 3mm。气割法设备灵活、费用低廉、精度高，能切割各种厚度的钢材，尤其是带曲线的零件或厚钢板，是目前使用最广泛的切割方法。

2）机械剪切下料

机械剪切下料是通过冲剪、切削、摩擦等机械来实现。

(1) 冲剪切割：当钢板厚度不大于 12cm 时，采用剪板机、联合冲剪机切割钢材，其速度快、效率高，但切口略粗糙。

(2) 切削切割：采用弓锯床、带锯机等切削钢材，精度较好。

(3) 摩擦切割：采用摩擦锯床、砂轮切割机等切割钢材，速度快，但切口不够光洁、噪声大。

3）等离子切割下料

利用高温高速的等离子焰流将切口处金属及其氧化物熔化并吹掉来完成切割，能切割任何金属，特别是熔点较高的不锈钢及有色金属铝、铜等。

3. 构件加工

1）边缘加工

对于尺寸精度要求高的腹板、翼缘板、加劲板、支座支撑面和有技术要求的焊接坡口，需要对剪切或气割过的钢板边缘进行加工。边缘加工方法有铲边、刨边、铣边和碳弧气刨边。

2）弯卷成型

(1) 钢板卷曲：钢板卷曲是通过旋转辊轴对板料进行连续三点弯曲所形成的。钢板卷曲包括预弯、对中和卷曲三个过程。

①预弯：钢板在卷板机上卷曲时，两端边缘总有卷不到的部分，即剩余直边。一般通过预弯消除剩余直边。

②对中：为防止钢板在卷板机上卷曲时发生歪扭，应将钢板对中，使钢板的纵向中心线与滚筒轴线保持严格的平行。

③卷曲：对中后，利用调节辊筒的位置使钢板发生初步的弯曲，然后来回滚动而卷曲。

(2) 型材及钢管弯曲。

①型钢弯曲：型钢弯曲时断面会发生畸变，弯曲半径越小，则畸变越大。应控制型

钢的最小弯曲半径。

构件的曲率半径较大，宜采用冷弯；构件的曲率半径较小，宜采用热弯。

②钢管弯曲：在自由状态下弯曲时截面会变形，外侧管壁会减薄，内侧管壁会增厚。

弯制方法：管中加入填充物（砂）或穿入芯棒进行弯曲；或用滚轮和滑槽在管外进行弯曲。

弯曲半径：不小于管径的 3.5 倍（热弯）到 4 倍（冷弯）。

(3) 折边：把构件的边缘压弯成倾角或一定形状的操作过程称为折边。折边可提高构件的强度和刚度。弯曲折边利用折边机进行。

(4) 制孔：包括铆钉孔、螺栓孔，可钻可冲。钻孔用钻孔机进行，能用于钢板、型钢的孔加工；冲孔用冲孔机进行，一般只能在较薄的钢板、型钢上冲孔，且孔径一般不小于钢材的厚度。施工现场的制孔可用电钻、风钻等加工。

3) 构件矫正

钢材在存放、运输、吊运和加工成型过程中会变形，必须对不符合技术标准的钢材、构件进行矫正。钢结构的矫正，是通过外力或加热作用迫使钢材反变形，使钢材或构件达到技术标准要求的平直或几何形状。

矫正的方法包括火焰矫正（也称热矫正）、机械矫正和手工矫正（也称冷矫正）。

4. 除锈、防腐与涂饰

钢结构的防腐与涂饰包括普通涂料涂装和防火涂料涂装。涂装前，钢材表面应除锈。

(1) 钢材的除锈：钢材除锈方法有喷砂、抛丸、酸洗以及钢丝刷人工除锈、现场砂轮打磨等。抛丸除锈是最理想的除锈方式。

(2) 防腐与涂饰：施涂的方法有刷涂法（油性基料的涂料）和喷涂法（快干性和挥发性强的涂料）。

普通涂料的涂装遍数、涂层厚度应符合设计要求，钢材表面不应误涂、漏涂，涂层应均匀，无明显皱皮、流坠、针眼、气泡及脱皮和返锈等。防火涂料的涂层厚度应符合耐火极限的设计要求。

7.5.2 连接与拼装

钢构件的连接方法有焊接、紧固件连接（螺栓连接、射钉、自攻钉、拉铆钉）及铆接三种。

1. 钢结构构件焊接（表 7-1）

表 7-1 钢结构常用的焊接方法、特点及适用范围

焊接方法		特 点	适用范围
手工焊	交流焊机	设备简易，操作灵活，可进行各种位置的焊接	普通钢结构
	直流焊机	焊接电流稳定，适用于各种焊条	要求较高的钢结构
埋弧自动焊		生产效率高，焊接质量好，表面成型光滑美观，操作容易，焊接时无弧光，有害气体少	长度较长的对接或贴角焊缝
埋弧半自动焊		与埋弧自动焊基本相同，但操作较灵活	长度较短、弯曲焊缝
CO_2 气体保护焊		生产效率高，焊接质量好，成本低，易于自动化，可进行全位置焊接	用于薄钢板

1）手工电弧焊

又称焊条电弧焊，是最普遍的熔化焊焊接方法，它是利用电弧产生的高温、高热量进行焊接的。

(1) 电焊机：主要有交流弧焊机、直流弧焊机。

(2) 焊条：焊条供手工电弧焊用，由焊芯和药皮组成。焊条的表示方法（如 E4303、E5015）：“E”代表焊条，前两位“43”“50”表示焊缝金属的抗拉强度等级（430N/mm^2、500N/mm^2），第三位数字代表焊接的位置，最后一位数表示适用的电源种类及药皮类型。

(3) 焊接接头与坡口：焊接前根据焊接部位的形状、尺寸、受力的不同，选择合适的接头类型。常见的接头形式有对接接头、搭接接头、角接接头和T形接头等，如图 7.70 所示。

为确保焊件能焊透，必须开一定形状的坡口。图 7.71 所示为对接接头的坡口形式。

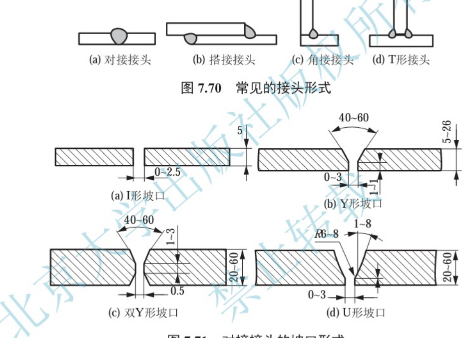


图 7.70　常见的接头形式

图 7.71　对接接头的坡口形式

(4) 焊接工艺参数的选择：手工电弧焊的焊接工艺参数有焊条直径、焊接电流、电弧电压、焊接层数、电源种类及极性等。

①焊条直径——根据焊件厚度、接头形式、焊缝位置和焊接层次来选择。

②焊接电流——根据焊条的类型和直径、焊件的厚度、接头形式、焊缝空间位置等因素来考虑。其中焊条直径和焊缝空间位置最为关键。

③电弧电压——根据电源特性，由焊接电流决定相应的电弧电压。此外电弧电压还与电弧长有关。

④焊接层数——视焊件的厚度而定。除薄板外，一般都采用多层焊。每层焊缝的厚度过大，对焊缝金属的塑性有不利影响，施工中每层焊缝的厚度不应大于 4 ～ 5mm。

(5) 焊缝的空间位置：有平焊、立焊、横焊和仰焊四种。平焊易操作，劳动条件好，生产率高，焊缝质量易保证。立焊、横焊和仰焊时施焊困难，应尽量避免。图 7.72 为焊缝的空间位置。

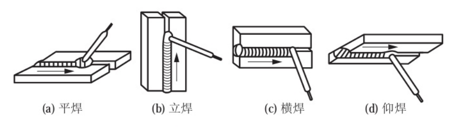


图 7.72 焊缝的空间位置

(6) 焊接准备：包括坡口制备、焊口清理、焊条烘干、预热、预变形及高强度钢切割表面探伤等。

(7) 引弧。

①碰击法：将焊条垂直于焊件进行碰击，然后迅速保持一定距离。

②划擦法：将焊条端头轻轻划过焊件，然后迅速保持一定距离。

严禁在焊缝区以外的母材上打火引弧。

(8) 运条方法：焊条运条有三个运条方向，三个方向的动作应密切配合。

①沿其中心线向下送进：焊条被电弧熔化变短，为保持弧长，须使焊条沿其中心线向下送进，以防止断弧。

②沿焊缝方向移动：为形成线形焊缝，焊条要沿焊缝方向移动，移动速度应适当。

③横向摆动：为获得一定宽度的焊缝，焊条必须横向摆动。

2) 埋弧自动焊

埋弧自动焊的优点是生产效率高、焊缝质量好、节约钢材和电能、改善了劳动条件。

埋弧自动焊的缺点是适应能力差，只能在水平位置焊接长直焊缝或大直径的环焊缝。

3) CO_2 气体保护焊

二氧化碳气体保护焊施焊时焊缝被保护，故焊缝金属纯度高、性能好；焊接加热集中，焊件变形小；电弧稳定性好，在小电流时电弧也能稳定燃烧，是一种高效率、低成本的焊接方法。其缺点是焊缝熔深浅，只适合于焊接厚度小于 6mm 的薄板。

2. 紧固件连接

紧固件连接包括普通螺栓，高强度螺栓，射钉、自攻钉、拉铆钉的紧固连接。连接螺栓分为 8 级，即 3.6S、4.6S、4.8S、5.6S、5.8S、6.8S、8.8S、10.9S（如 5.6S 表示抗拉强度为 500MPa，屈强比为 60%)，其中后两级为高强螺栓，其余为普通螺栓。

1) 普通螺栓连接

(1) 普通螺栓的种类和用途：普通螺栓按外形有六角螺栓、双头螺栓和地脚螺栓。

①六角螺栓：按质量和产品等级分为 A、B、C 三种。

a. A 级螺栓——精制螺栓。

b. B 级螺栓——半精制螺栓。

c. C 级螺栓——粗制螺栓。

A、B 级螺栓适用于连接部位需传递较大剪力的重要结构的安装，C 级螺栓适用于钢结构安装中的临时固定。

②双头螺栓：又称螺柱，多用于连接厚板或不方便使用六角螺栓连接的地方，如混凝土屋架、屋面梁悬挂单轨梁吊挂件等。

③地脚螺栓：分为一般地脚螺栓、直角地脚螺栓、锤头螺栓和锚固地脚螺栓。一般地脚螺栓、直角地脚螺栓和锤头螺栓是在混凝土浇筑前预埋在基础之中，用以固定钢柱；锚固地脚螺栓是在已成型混凝土基础上经钻机成孔后，再安装、灌浆固定的一种地脚螺栓。

(2) 普通螺栓的施工。

①连接要求。

a. 螺栓头和螺母的下面应放置平垫圈。螺母下面的垫圈不应多于2个，螺栓头部下面的垫圈不应多于1个。

b. 螺栓头和螺母应与结构构件的表面及垫圈密贴。

c. 倾斜面的螺栓连接，放置斜垫片垫平。

d. 动荷载或重要部位的螺栓，应放置弹簧垫圈。

e. 螺栓伸出螺母的长度应不小于两个完整螺纹的长度。

②紧固轴力：螺栓紧固必须从中心开始，对称施拧；大型接头采用复拧，即“两次紧固法”。施拧时的紧固轴力应不超过相应的规定。永久螺栓拧紧质量检验采用锤敲或用力矩扳手检验，要求螺栓不颤动和偏移，拧紧的真实性用塞尺检查，对接表面高差（不平度）不应超过0.5mm。

2) 高强螺栓连接

(1) 高强螺栓的种类和用途：高强螺栓就是高强度的螺栓，是一种标准件，是继铆接连接后的新型钢结构连接形式，是目前钢结构连接的主要手段。高强螺栓从外形上可分为扭剪型高强螺栓和大六角头高强螺栓。

(2) 高强螺栓施工的机具。

①手动扭矩扳手：高强螺栓以手动紧固时，要使用有标明扭矩值的扳手施拧，以达到高强螺栓连接副规定的扭矩和剪力值。常用的手动扭矩扳手有指针式、音响式和扭剪型三种。

②电动扳手：定扭矩、定转角电动扳手适用于大六角头高强螺栓的紧固，可自动控制扭矩和转角，适用于钢结构桥梁、厂房建设安装大六角头高强螺栓施工的初拧、终拧和扭剪型高强螺栓的初拧。扭剪型电动扳手适用于扭剪型高强度螺栓的终拧紧固，常用的扭剪型电动扳手有6922型和6924型两种。

(3) 高强螺栓的保管及现场复验。

①高强螺栓的保管：高强度螺栓的包装、运输、现场保管过程要保持它的出厂状态，直到安装使用前才能开箱检查使用，以防止连接副的扭矩系数(K)发生变化，这是高强度螺栓保管的一项重要内容。

②高强度螺栓的现场取样复验：扭剪型高强螺栓和高强大六角头螺栓出厂时应随箱带有扭矩系数和紧固轴力（预拉力）的检验报告。

a. 连接面抗滑移系数复验：高强螺栓按每验收批抽取3组试件。

b. 预拉力复验：扭剪型高强螺栓每验收批抽取8套。

c. 扭矩系数复验：高强大六角头螺栓每验收批抽取8套。

(4) 高强螺栓的施工要点。

①紧固前检查：螺栓紧固前，应对螺孔、被连接件的移位、不平度、不垂直度、磨光顶紧的贴合情况，板叠合处摩擦面的处理，连接间隙，孔眼的同心度，以及临时螺栓的布放等进行检查。

②紧固施工：紧固顺序应从节点中心向边缘依次进行。紧固时，要分初拧和终拧两次紧固；对于大型节点，可分为初拧、复拧和终拧。初拧、复拧轴力宜为60%～80%的标准轴力，终拧轴力为标准轴力。当天安装的螺栓，要在当天终拧完毕，防止螺纹被污染和生锈，引起扭矩系数值发生变化。

③紧固完毕检查：高强大六角头螺栓检查包括是否有漏拧和施工扭矩值。施工扭矩值的检查在终拧完成1h后、48h内进行。

抽查量：每个作业班组和每天终拧完毕数量的5%，其不合格的数量应小于被抽查数量的10%，且少于2个，方为合格。否则，应双倍抽检。如仍不合格，则应对当天终拧完毕的螺栓全部进行复验。

扭剪型高强螺栓检查时，只要观察其尾部被拧掉，即可判断螺栓终拧合格。对于某些原因无法使用专用电动扳手终拧掉梅花头的情况，则可参照高强大六角头螺栓的检查方法，采用扭矩法或转角法进行终拧并标记。

3）自攻螺栓、钢拉铆钉、射钉连接

连接薄钢板用的自攻螺栓、钢拉铆钉、射钉等其规格尺寸与连接钢板相匹配，紧固密贴，其间距、边距应符合设计要求。

3. 构件的组装

受运输、吊装等条件的限制，钢构件可按部件、构件组装后出厂，对于复杂构件为验证其安装质量，还要进行工厂预拼装。

除管结构为立体预拼装，并可设卡、夹具外，其他结构一般均为平面拼装，且构件应处于自由状态，不得强行固定。

7.5.3 钢结构安装

1. 施工准备

(1) 技术准备：制定安装技术方案，单层钢结构工程宜采用分件安装法，屋盖系统宜采用综合安装法，多层钢结构工程一般采用综合安装法。

(2) 施工机具及材料准备：包括吊装机械、各类辅助施工机具、钢构件、各类焊接材料及紧固件等。

(3) 柱基检查：柱基找平和标高控制，复核轴线并弹好安装对位线，检查地脚螺栓轴线位置、尺寸及质量。

(4) 构件清理：清理钢柱等先行吊装构件，编号并弹好安装就位线。

2. 单层钢结构安装

(1) 钢柱安装：钢柱宜采用一点直吊绑扎法起吊，就位时对准地脚螺栓，缓慢下落，对位后拧上螺帽将柱临时固定，校正其平面位置和垂直度；校正后终拧螺母，用垫板与柱底板焊牢，然后柱底灌浆固定。

(2) 钢吊车梁安装：吊车梁采用两点绑扎，吊升时用溜绳控制吊升过程构件的空中姿态，方便对位及避免碰撞。就位临时固定后要校正吊车梁的垂直度、标高及纵横轴线位置。

(3) 屋面系统安装：屋架安装应在柱子校正并固定后进行；屋面系统可采用扩大组合拼装后吊装，扩大组合拼装单元宜成为具有一定刚度的空间结构。檩条等构件安装应在屋架调整定位后进行。

3. 多层及高层钢结构安装

多层及高层钢结构的柱、梁、支撑等构件的长度尺寸应包括焊接收缩余量等变形值。

1) 钢柱的安装与校正

轴线引测：柱的定位轴线应从地面控制线引测，不得从下层柱的定位轴线引测，避免累积误差。

钢柱校正：对垂直度、轴线、牛腿面标高进行初验，柱间间距用液压千斤顶与钢楔或倒链与钢丝绳校正。

2) 钢梁的安装与校正

安装准备：吊装前应检查钢柱牛腿标高和柱子间距，梁上装好扶手和通道钢丝绳以保证施工人员的安全。吊点一般设在翼缘板开孔处，其位置取决于钢梁的跨度。

钢梁校正：对标高及中心线要反复校正至符合要求。

3) 构件间的连接

钢柱间的连接常采用坡口焊连接；主梁与钢柱的连接：一般翼缘用坡口焊连接，腹板用高强螺栓连接；次梁与主梁的连接基本上是在腹板处用高强螺栓连接，少量再在翼缘处用坡口焊连接。

(1) 柱与梁的焊接顺序：先焊顶部梁柱节点，再焊底部梁柱节点，最后焊中间部分的梁柱节点。

(2) 高强螺栓连接的紧固顺序：先主要构件，后次要构件。

(3) 工字形构件的紧固顺序：上翼缘→下翼缘→腹板。

(4) 同一节柱上各梁、柱节点的紧固顺序：上部的梁柱节点→下部的梁柱节点→柱子中部的梁柱节点。

4. 钢网架安装

网架结构广泛用作大跨度的屋盖结构。其特点是汇交于节点上的杆件数量较多，制作安装较平面结构复杂。

网架结构节点有焊接球、螺栓球和钢板节点三种形式。网架的基本单元有三角锥、三棱体、正方体、截头四角锥等，可组合成平面形状的任何形体。

(1) 高空拼装法：先在设计位置处搭设拼装支架，用起重机把网架构件分件（或分块）吊至空中的设计位置，在支架上进行拼装。此法不需大型起重设备，但拼装支架用量大，高空作业多，适用于螺栓球节点的钢管网架。

(2) 整体安装法：是先将网架在地面上拼装成整体，再用起重设备将其整体提升到设计位置上加以固定。此法不需拼装支架，高空作业少，易保证焊接质量，但对起重设备要求高，技术较复杂，适用于球节点的钢网架。根据所用设备的不同，整体安装法又分为多机抬吊法、拔杆提升法、整体提升法及整体顶升法等。

(3) 高空滑移法：按滑移方式分逐条滑移法和逐条累积滑移法两种；按摩擦方式可分为滚动式滑移和滑动式滑移两种。

本章小结

通过本章的学习，了解常用起重机械种类，桅杆式起重机，掌握塔式起重机性能、使用范围、安装使用方法。掌握结构安装前准备工作要点，构件吊装工艺；掌握结构安装方案编制。掌握多层装配式框架结构安装施工方案，熟悉结构安装工程的质量标准和安全技术。

习　　题

简答题

1. 试述桅杆式起重机的种类及特点。
2. 试述履带式起重机的主要技术参数及相互关系。
3. 塔式起重机有哪几种类型？试比较其特点及适用范围。
4. 试述自升式和爬升式起重机的自升原理和爬升原理。
5. 试述柱的吊升工艺及方法。吊点选择应考虑哪些原则？
6. 如何对柱进行固定和校正？
7. 屋架的正向扶直和反向扶直有何区别？
8. 试述屋架的吊升、校正和固定方法。
9. 试比较分件吊装法和综合吊装的优缺点。
10. 大跨度结构有何特点？拟定吊装方案应考虑哪些因素？
11. 简述钢结构构件在工厂制作包括哪些工艺过程。
12. 什么是钢结构构件生产的放样与号料？
13. 什么是切割下料？常用的切割方法有哪几种？
14. 为什么要进行构件矫正？矫正方法有哪几种？
15. 钢结构焊接接头形式有哪些？对接接头为什么要留坡口？
16. 手工电弧焊的焊接工艺参数有哪些？如何选择？
17. 焊缝的空间位置有哪几种？什么位置施焊质量最好？
18. 试述普通螺栓和高强螺栓的种类和用途。
19. 试述高强螺栓的施工要点。
20. 钢结构工程安装前有哪些施工准备工作？

第8章 防水及保温工程

本章教学要点

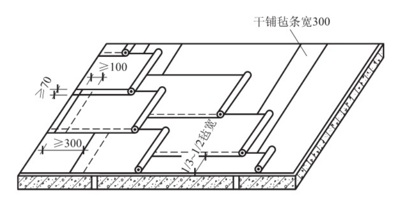
知识模块	掌握程度	知识要点
地下防水工程	掌握	地下防水施工的要点和材料
屋面防水工程	掌握	屋面防水施工的要点和要求
卫生间防水工程	熟悉	卫生间防水施工的要点和材料要求
屋面保温工程	掌握	屋面保温施工的要点和材料要求
墙面保温工程	掌握	墙面保温施工的要点和材料要求

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
地下防水方案，地下防水工程防水混凝土，卷材防水层等的构造和施工要点	掌握	地下防水设计材料的选择，各种材料的适用性和施工方法
屋面防水等级，设计要求和施工方法，卷材防水材料	掌握	根据建筑物的重要性和防水等级要求，合理设计防水层
卫生间防水方案	熟悉	根据卫生间的构造和防水等级要求，合理设计防水层
屋面、墙面保温方案，屋面、墙面保温工程的构造和施工要点	掌握	根据建筑物的重要性和保温等级要求，合理设计保温层

案例导航

右图为屋面防水的施工示意图，你知道屋面防水有哪些施工要点？屋面防水材料应该如何选择？有哪些需要注意的吗？



本章问题讨论

1. 一般屋面的防水使用年限是多长？屋面防水如何做到更长的使用年限？
2. 试述地下室防水内防与外防的做法以及它们的优劣。

8.1 概　　述

防水工程按其构造做法分为结构防水和材料防水两大类。

1. 结构防水

结构防水主要是依靠结构构件材料自身的密实性及其某些构造措施（坡度、埋设止水带等），使结构构件起到防水的作用。

2. 材料防水

材料防水是在结构构件的迎水面或背水面以及接缝处，附加防水材料做成防水层，以起到防水的作用，如卷材防水、涂料防水、刚性材料防水层防水等。

8.2 地下防水工程

8.2.1　地下工程防水等级标准

根据建筑物的性质、重要程度、使用功能要求及防水层耐用年限等，地下工程的防水等级分为四个。现行规范规定地下工程防水等级及其相应的适用范围见表 8-1。

表 8-1　地下工程防水等级及其适用范围

防水等级	标　　准	适用范围
一级	不允许渗水，结构表面无湿渍	医院、餐厅、旅馆、影剧院、商场、冷库、粮库、金库、档案库、通信工程、计算机房、电站控制室、配电间等防水要求较高的生产车间；指挥工程、武器弹药库、防水要求较高的人员掩蔽部；铁路旅客站台、行李房、地下铁道车站、城市人行地道
二级	不允许漏水，结构表面可有少量湿渍。 工业与民用建筑：总湿渍面积不应大于总防水面积（包括顶板、墙面、地面）的 1/1000；任意 $100m^2$ 防水面积上的湿渍不超过 1 处，单个湿渍的最大面积不大于 $0.1m^2$。 其他地下工程：总湿渍面积不应大于总防水面积的 6/1000；任意 $100m^2$ 防水面积上的湿渍不超过 4 处，单个湿渍的最大面积不大于 $0.2m^2$	一般生产车间、空调机房、发电机房、燃料库；一般人员危险工程；电气化铁路隧道、寒冷地区铁路隧道、地铁运行区间隧道、城市公路隧道、水泵房

（续）

防水等级	标　　准	适用范围
三 级	有少量漏水点，不得有线流和漏泥砂。 单个湿渍面积不大于 0.3 m^2，单个漏水点的漏水量不大于 2.5L/d，任意 100 m^2 防水面积不超过 7 处	电缆隧道；水下隧道、非电气化铁路隧道、一般公路隧道
四 级	有漏水点，不得有线流和漏泥砂。 整个工程平均漏水量不大于 2L/(m^2•d)；任意 100m^2 防水面积的平均漏水量不大于 4L/(m^2•d)	取水隧道、污水排放隧道；人防疏散干道；涵洞

在进行地下工程防水设计时，应遵循“防排结合，刚柔并用，多道防水，综合治理”的原则，并根据建筑物的使用功能及使用要求，结合地下工程的防水等级，选择合理的防水方案。具体来讲，地下工程的防水方案有下列几种方案的组合。

(1) 采用混凝土自防水，它是利用提高混凝土结构本身的密实性来达到防水要求的。防水混凝土结构既能承重，又能防水，应用较广泛。

(2) 排水方案，即利用盲沟、渗排水层等措施，把地下水排走，以达到防水的要求，此法多用于重要的、面积较大的地下防水工程。

(3) 在地下结构表面设附加防水层，如在地下结构的表面抹水泥砂浆防水层、贴卷材防水层或刷涂料防水层等。

8.2.2 混凝土结构自防水

防水混凝土结构是指以混凝土自身的密实性而具有一定防水能力的混凝土或钢筋混凝土结构，故又称之为混凝土结构自防水。因为其兼具承重、围护功能，可满足一定的耐冻融和耐侵蚀要求；且与卷材防水层等相比，防水混凝土结构具有材料来源广泛、工艺操作简便、改善劳动条件、缩短施工工期、节约工程造价、检查维修方便等优点。所以已成为地下防水工程首选的一种主要结构形式，广泛适用于一般工业与民用建筑地下工程的建（构）筑物。但混凝土结构自防水不适用于以下三种情况：允许裂缝开展宽度大于 0.2mm 的结构，遭受剧烈振动或冲击的结构、环境温度高于 80℃的结构，以及可致耐蚀系数小于 0.8 的侵蚀性介质中使用的结构。

混凝土结构自防水一般包括普通防水混凝土和外加剂防水混凝土两大类，且抗渗等级不小于 0.6MPa。各种防水混凝土的特点及适用范围见表 8-2。

表 8-2　防水混凝土的适用范围

种　类		特　点	适 用 范 围
普通防水混凝土		施工简单，材料来源广泛	适用于一般工业与民用建筑及公共建筑的地下防水工程
外加剂防水混凝土	引气剂防水混凝土	抗冻性好	适用于北方高寒地区抗冻性要求较高的防水工程及一般防水工程，不适用于抗压强度大于 20MPa 或耐磨性要求较高的防水工程


（续）

种　类		特　点	适用范围
外加剂防水混凝土	减水剂防水混凝土	拌合物流动性好	适用于一般工业与民用建筑的地下防水结构、钢筋密集或捣固困难的薄壁型防水构筑物、大型设备基础等大体积混凝土，也适用于不同季节施工的防水工程和流动性有特殊要求的防水工程（如泵送混凝土）
	三乙醇胺防水混凝土	抗渗等级高，早期强度高	适用于工期紧迫，要求早强及抗渗性较高的防水工程及一般防水工程
	氯化铁防水混凝土	增强、早强、耐久及抗腐蚀性好	适用于水中结构的无筋、少筋、厚大防水混凝土工程，长期贮水的构筑物及防水工程的治渗及维修，不适用于薄壁结构
	补偿收缩混凝土（膨胀剂或膨胀水泥防水混凝土）	密实及抗裂性好	适用于一般工业与民用建筑的地下防水结构，水池、水塔等构筑物，人防、洞库，以及修补堵漏、压力灌浆、混凝土后浇带
	自密实高性能防水混凝土	拌合物流动性好、高强度、耐久及工作性好	适用于浇筑量大、体积大、密筋、形状复杂或浇筑困难的地下防水工程
	E型高强防水剂混凝土	高工作性，早强、高强、抗裂、抗渗以及耐久性好	适用于预应力混凝土、大体积混凝土、防水功能要求较高的地下建（构）筑物以及水池、水塔、储油罐、大型设备基础、后浇缝
	聚合物水泥混凝土	适应变形能力强	适用于地下建（构）筑物防水以及游泳池、水泥库、化粪池等防水工程；如直接接触饮用水，例如贮水池，应选用符合要求的聚合物

1. 防水混凝土材料

1）水泥

(1) 水泥强度等级不应低于 32.5 级。

(2) 在不受侵蚀性介质和冻融作用的条件下，宜采用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥；若选用矿渣硅酸盐水泥，则必须掺用高效减水剂。

(3) 在受侵蚀性介质作用的条件下，应按介质的性质选用相应的水泥。例如，在受硫酸盐侵蚀性介质作用的条件下，可采用火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或抗硫酸盐硅酸盐水泥。

(4) 在受冻融作用的条件下，应优先选用普通硅酸盐水泥，不宜采用火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。

(5) 不得使用过期、受潮结块的水泥；不得使用混入有害杂质的水泥；不得将不同品种或不同强度等级的水泥混合使用。

2）石

石子最大粒径不宜大于 40mm；石子吸水率不应大于 1.5%；含泥量不得大于 1%、泥块含量不得大于 0.5%；不得使用碱活性骨料；其他要求应符合现行规范的规定。

3）砂

宜采用中砂；含泥量不得大于 3.0%，泥块含量不得大于 1.0%；其他要求应符合现行规范的规定。

4）掺合料

粉煤灰的级别不应低于二级，掺量不宜大于 20%；硅粉掺量不应大于 3%，其他掺合料的掺量应通过试验确定。

5）外加剂

外加剂包括引气剂、减水剂、三乙醇胺外加剂、氯化铁防水剂、膨胀剂、膨胀水泥、钢纤维与聚丙烯纤维等。外加剂的技术性能应符合国家或行业标准一等品以上的质量要求。

2. 防水混凝土的配制

（1）配制普通防水混凝土。普通防水混凝土是以调整配合比的方法，提高混凝土自身的密实性和抗渗性。试配要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2MPa，其他技术要求见表 8-3。

表 8-3 配置普通防水混凝土的技术要求

项　目	技术要求
水灰比	不得大于 0.55
坍落度	不宜大于 50mm。防水混凝土采用预拌混凝土，其入泵坍落度宜控制为 100 ～ 140mm；入泵前坍落度每小时损失值不应大于 30mm，总损失值不应大于 60mm
水泥量	最少不得少于 300kg/m³；当掺有活性掺合料时，不得少于 280kg/m³
砂率	宜为 35% ～ 45%；泵送混凝土的砂率可为 45%
灰砂比	宜为（1:2.5）～（1:2）
骨料	粗骨料最大粒径不宜大于 40mm；采用中砂或细砂。级配（5 ～ 20）:（20 ～ 40）=（30:70）～（70:30）或自然级配

（2）配制引气剂防水混凝土的技术要求见表 8-4。

表 8-4 配置引气剂防水混凝土的技术要求

项　目	技术要求
引气剂掺量	松香酸钠掺量为 0.1‰～ 0.3‰，松香热聚物掺量约为 0.1%
含气量	混凝土含气量应控制在 3% ～ 5%
坍落度	30 ～ 50mm
水泥用量	最少不得少于 250kg/m³，一般为 280 ～ 300kg/m³，当耐久性要较高时，可适当增加用量

（续）

项　目	技 术 要 求
水灰比	不得大于 0.65，以 0.5 ～ 0.6 为宜，当抗冻性耐久性要求高时，可适当降低水灰比
砂率	28% ～ 35%
灰砂比	(1:2.5) ～ (1:2)
骨料	(10 ～ 20):(20 ～ 40)=(30:70) ～ (70:30)

(3) 配制减水剂防水混凝土，技术要求见表 8-5。

表 8-5　配置减水剂防水混凝土的技术要求

项　目		技 术 要 求
水灰比		当工程需要混凝土坍落度为 80 ～ 100mm 时，可不减少或稍减少拌和用水量；当要求坍落度为 30 ～ 50mm 时，可大大减少拌和用水量
坍落度		坍落度可不受 50mm 的限制，但也不宜过大，以 50 ～ 100mm 为宜
适宜掺量（占水泥重量）/(%)	木钙、糖蜜	0.2% ～ 0.3%，不得大于 0.3%，否则使混凝土强度降低
	NNO、MF	0.5% ～ 1.0%，在其范围内只稍微增加混凝土造价，对性能无大影响
	JN	0.5%
	UFN-5	0.5%，外加 0.5% 三乙醇胺，抗渗性能好
	腐殖酸类	0.2% ～ 0.35%
	三聚氰胺类	0.5% ～ 2.0%

3. 防水混凝土的施工

施工工艺：作业准备→混凝土搅拌→运输→混凝土浇筑→养护。

施工要点如下。

1) 作业准备

防水混凝土工程的模板应平整且拼缝严密不漏浆，并有足够的强度和刚度，吸水率要小。一般不宜用螺栓或铁丝贯穿混凝土墙固定模板，当墙高需要用螺栓贯穿混凝土墙固定模板时，应采取止水措施。一般可在螺栓中间加焊一块 100mm×100mm 的止水钢板，阻止渗水通路。

为了阻止钢筋的引水作用，迎水面防水混凝土的钢筋保护层厚度不得小于 30mm，底板钢筋不能接触混凝土垫层。墙体的钢筋不能用铁钉或铁丝固定在模板上。严禁用钢筋充当保护层垫块，以防止水沿钢筋浸入。

2) 混凝土搅拌

(1) 严格按照经试配选定的施工配合比计算原材料用量。

(2) 所用各种材料的品种、规格和用量，每工作班检查不应少于两次。每盘混凝土各组成材料计量结果的偏差应符合规定。

(3) 防水混凝土必须采用机械搅拌。搅拌时间不应小于 120s。掺外加剂时，应根据

外加剂的技术要求确定搅拌时间。

3) 混凝土浇筑

(1) 混凝土在浇筑地点需检查坍落度，每工作班至少检查两次。普通防水混凝土的坍落度不宜大于 50mm。

(2) 混凝土浇筑要控制自由落差小于 1.5m，若自由落差大于 1.5m，可采用溜槽或串筒浇筑，以防止混凝土产生分层离析现象。若钢筋较密，模板窄高不易浇筑时，可在模板侧面预留浇筑口处浇筑。

(3) 防水混凝土应分层浇筑，一般每层厚度为 200 ～ 400mm。采用平板式振捣器振捣时，每层厚度不超过 200mm；采用插入式振捣器振捣时，每层厚度宜为 300 ～ 400mm。分层浇筑间歇时间不超过 2h，夏天可适当缩短。

(4) 防水混凝土必须采用机械振捣密实，振捣时间宜为 10 ～ 30s，以混凝土开始泛浆和不冒气泡为准，并应避免漏振、欠振和超振。

当采用加气剂或加气型减水剂时，应采用高频振捣器振捣，以排除气泡，提高混凝土的抗渗性和抗冻性。

4) 施工缝的处理

施工缝是防水薄弱部位之一，施工中应尽量不留或少留。底板的混凝土应连续浇筑，墙体不得留垂直施工缝。墙体水平施工缝不应留在剪力与弯矩最大处或底板与墙体交接处，最低水平施工缝距底板面不少于 200mm，距穿墙孔洞边缘不少于 300mm。施工缝的形式有平口缝、凸缝、高低缝、金属止水缝等，如图 8.1 所示。在施工缝上继续浇筑混凝土前，应将施工缝处松散的混凝土凿除，清除浮料和杂物，用水清洗干净，保持湿润，铺上 10 ～ 20 mm 厚水泥砂浆，再浇筑上层混凝土。

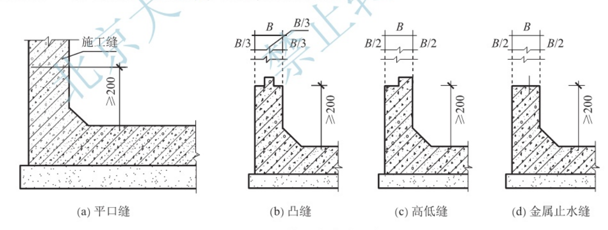


图 8.1　施工缝接缝形式

5) 泵送防水混凝土施工要求

配合比除参考普通防水混凝土配合比的技术参数之外，尚应考虑以下因素。

(1) 确定适宜的砂率。为获得良好的可泵性，要求较大的砂率，但不宜过大，以不超过 45% 为宜，以防混凝土强度和抗渗等级的降低。

(2) 防水混凝土碎石最大粒径不超过 40mm，也适用于泵送工艺。但要注意碎石最大粒径与混凝土输送管道内径之比，宜不大于 1:3；卵石则宜不大于 1:2.5，且通过 0.315mm 筛孔的砂应不少于 15%，以减小摩阻力，延长混凝土输送泵及输送管道的寿命。

(3) 宜掺入适量外加剂及粉细料，从而获得较好的可泵性。

6) 防水混凝土的养护

防水混凝土的养护对其抗渗性能影响较大，特别要注意早期及时湿润养护，一般在混凝土进入终凝（浇筑后 4 ～ 6h）前即应覆盖，浇水湿润养护不少于 14d。防水混凝土不宜用电热法养护。因为这种方法不易控制混凝土内部温度均匀，更难控制混凝土内部与外部之间的温差，因此很容易使混凝土产生温差裂缝，降低混凝土质量。

8.2.3 水泥砂浆抹面防水

水泥砂浆防水层是用水泥砂浆、素灰（纯水泥浆）交替抹压涂刷四层或五层的多层抹面的水泥砂浆防水层。其防水原理是分层闭合，构成一个多层整体防水层，各层的残留毛细孔道互相堵塞住，使水分不可能透过其毛细孔，从而具有较好的抗渗防水性能。

1. 材料要求

水泥砂浆防水层所用的水泥宜采用不低于 32.5 号普通硅酸盐水泥或膨胀水泥。砂浆用砂应控制其含泥量和杂质含量。

配合比按工程需要确定。水泥净浆的水灰比宜控制在 0.37 ～ 0.40 或 0.55 ～ 0.60。

水泥砂浆灰砂比宜用 1:2.5，其水灰比为 0.6 ～ 0.65，稠度宜控制在 7 ～ 8cm。

水泥防水砂浆包括普通防水砂浆、掺小分子的水泥防水砂浆、掺塑化膨胀剂防水砂浆、聚合物水泥防水砂浆等。水泥砂浆防水层系刚性防水材料，适应基层变形能力差，因此不适用于环境有侵蚀性、持续振动或温度大于 80℃的地下工程。各种水泥防水砂浆防水剂的化学组成、特点及适用范围见表 8-6。

表 8-6 各种水泥防水砂浆防水剂的特点及适用范围

防水砂浆种类	防水剂类别		特 点	适用范围
小分子防水剂砂浆	有机类	有机硅、脂肪酸	(1) 提高了水密性和疏水性 (2) 价格便宜 (3) 与普通水泥砂浆比较，机械力学性能不提高 (4) 某些防水剂加入后，砂浆的抗压强度下降，干缩率上升	结构稳定，埋置深度不大，不会因温度、湿度变化，振动等产生有害裂缝的地上及地下防水工程
掺塑化膨胀剂防水砂浆	钙钡石膨胀源	硫铝酸盐、木钙萘系减水剂	(1) 提高了水密性及抗渗性 (2) 对干、冷缩具有补偿收缩作用 (3) 可加大分格面积	用途同上，分格面积可比小分子防水剂砂浆加大
专用胶乳改性水泥类聚合物水泥砂浆	橡胶类	氯丁胶乳、羧基丁苯胶乳、丁苯胶乳	(1) 提高了水密性、抗折、抗拉强度黏结性 (2) 初黏性、施工性能优异 (3) 早期强度低	用途同上，还可用于受冲击和有振动的防水工程
	橡塑类	丙烯酸酯乳液、环氧乳液		

（续）

防水砂浆种类	防水剂类别		特　点	适用范围
专用胶乳加改性水泥面胶粉改性水泥胶粘剂配制的聚合物水泥砂浆	胶乳或粉状聚合物改性水硬性材料	丙烯酸酯胶乳＋改性水泥环氧乳液＋改性水泥粉状聚合物＋改性水泥	(1) 提高了水密性、抗折强度、抗拉强度、黏结性 (2) 初黏性、施工性能优异 (3) 早期强度高、干缩率小、体积稳定性好	用途同上，还可用于受冲击和有振动的防水工程，可用于大面积的防水抹面工程

2. 水泥砂浆抹面防水层施工

1) 混凝土顶板与墙面防水层操作

(1) 素灰层。先抹一道 1mm 厚素灰，用铁抹子往返用力刮抹，使素灰填实基层表面的孔隙。随即在已刮抹过素灰的基层表面再抹一道厚 1mm 的素灰找平层，抹完后，用湿毛刷在素灰层表面按顺序涂刷一遍。

(2) 第一层水泥砂浆层。在素灰层初凝时抹厚 6 ～ 8mm 水泥砂浆层，要使水泥砂浆薄薄压入素灰层厚度的 1/4 左右。抹完后，在水泥砂浆初凝时用扫帚按顺序向一个方向扫出横向条纹。

(3) 第二层水泥砂浆层。按照第一层的操作方法将厚 6 ～ 8mm 水泥砂浆抹在第一层上，在水泥砂浆凝固前水分蒸发过程中，分次用铁抹子压实，一般以抹压 2 ～ 3 次为宜，最后再压光。

2) 砖墙面和拱顶防水层的操作

第一层是刷水泥浆一道，厚度约为 1mm，用毛刷往返涂刷均匀，涂刷后，可抹第二、三、四层等，其操作方法与混凝土基层防水相同。

3) 地面防水层的操作

地面防水层操作与墙面、顶板操作不同的地方是：素灰层（一、三层）不采用刮抹的方法，而是把拌和好的素灰倒在地面上，用棕刷往返用力涂刷均匀，第二层和第四层是在素灰层初凝前后把拌和好的水泥砂浆层按厚度要求均匀铺在素灰层上，按墙面、顶板操作要求抹压，各层厚度也均与墙面、顶板防水层相同。地面防水层在施工时要防止踩踏，应由里向外顺序进行。

4) 特殊部位的施工

(1) 结构阴阳角处。此处的防水层均需抹成圆角，阴角直径为 5cm，阳角直径为 1cm。

(2) 防水层的施工缝。此处需留斜坡阶梯形槎，槎子的搭接要依照层次操作顺序层层搭接。留槎的位置一般留在地面上，也可留在墙面上，所留的槎子均需离阴阳角 20cm 以上。

8.2.4　地下卷材防水

1. 地下防水卷材材料

1) 卷材

(1) 适用于地下工程的高聚物改性沥青类防水卷材主要品种有以下几种。

①弹性体改性沥青防水卷材，以 SBS 改性沥青和聚酯毡或玻纤毡胎体制成。

②塑性体改性沥青防水卷材，以 APP 等改性沥青和聚酯毡或玻纤毡胎体制成。

③改性沥青聚乙烯胎防水卷材，以改性沥青为基料、高密度聚乙烯膜为胎体制成。

(2) 适用于地下工程的合成高分子卷材类型有以下几种。

①硫化橡胶类，如 JL1 三元乙丙橡胶防水卷材、JL2 氯化聚乙烯 - 橡胶共混防水卷材等。

②非硫化橡胶类，如 JF3 氯化聚乙烯 (CPE) 防水卷材等。

③合成树脂类，如 JS1 聚氯乙烯 (PVC) 防水卷材等。

④纤维胎增强类，如丁基、氯丁橡胶、聚氯乙烯、聚乙烯等产品。

2) 胶粘剂

配套所用胶粘剂必须与选用卷材的材性相容。胶粘剂的质量应符合以下要求。

(1) 高聚物改性沥青防水卷材之间的黏结剥离强度不应小于 8N/10mm。

(2) 合成高分子防水卷材配套胶粘剂的黏结剥离强度不应小于 15N/10mm，浸水 168h 后的黏结剥离强度保持率不应小于 70%。

2. 地下卷材防水施工方法

地下卷材防水层一般采用外防外贴和外防内贴两种施工方法，由于外防外贴法的防水效果优于外防内贴法，所以在施工场地和条件不受限制时一般均采用外防外贴法。

1) 外防外贴法施工

外防外贴法（简称外贴法）如图 8.2 所示。待混凝土垫层及砂浆找平层施工完毕，在垫层四周砌保护墙的位置干铺油毡条一层，再砌半砖保护墙高为 300 ～ 500mm，并在内侧抹找平层。干燥后，刷冷底子油 1 ～ 2 道，再铺贴底面及砌好保护墙部分的油毡防水层，在四周留出油毡接头，置于保护墙上，并用两块木板或其他合适材料将油毡接头压于其间，从而防止接头断裂、损伤、弄脏，然后在油毡层上做保护层。再进行钢筋混凝土底板及砌外墙等结构施工，并在墙的外边抹找平层，刷冷底子油。干燥后，铺贴油毡防水层。先贴留出的接头，再分层接铺到要求的高度。完成后，立即刷涂 1.5 ～ 3mm 厚的热沥青或加入填充料的沥青胶，以保护油毡。随即继续砌保护墙至油毡防水层稍高的地方。保护墙与防水层之间的空隙用砂浆随砌随填。

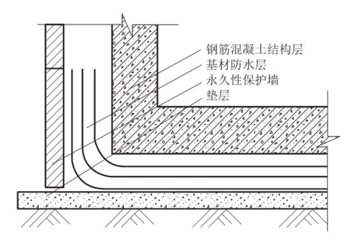


图 8.2　外防外贴法示意图

2）外防内贴法施工

外防内贴法（简称内贴法）如图 8.3 所示。先做好混凝土垫层及找平层，在垫层四周干铺油毡一层，并在其上砌一砖厚的保护墙，内侧抹找平层，刷冷底子油 1 ～ 2 遍，然后铺贴油毡防水层。完成后，表面涂刷 2 ～ 4mm 厚热沥青或加填充料的沥青胶，随即铺撒干净、预热过的绿豆砂，以保护油毡。接着进行钢筋混凝土底板及砌外墙等结构施工。

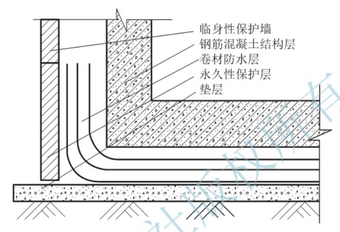


图 8.3　外防内贴法示意图

3. 地下卷材防水施工

1）施工工艺

基层清理→涂刷基层处理剂→节点附加增强处理→定位弹线→铺贴卷材→卷材搭接黏结处理→蓄水试验。

2）施工要点

(1) 铺贴防水卷材前，应将找平层清扫干净并在基面上涂刷基层处理剂；当基面较潮湿时，应涂刷湿固化型胶粘剂或潮湿界面隔离剂。基层处理剂配制与施工应符合下列规定：基层处理剂应与卷材及胶粘剂的材料相容；可采用喷涂或涂刷法施工，喷涂应均匀一致、不露底，待表面干燥后，方可铺贴卷材。

(2) 建筑工程地下防水的卷材铺贴方法，主要采用冷粘法和热熔法。铺贴高聚物改性沥青卷材应采用热熔法施工；铺贴合成高分子卷材采用冷粘法施工。

(3) 冷粘法铺贴卷材，胶粘剂涂刷应均匀，不露底，不堆积；铺贴卷材时应控制胶粘剂涂刷与卷材铺贴的间隔时间，并辊压黏结牢固，不得有空鼓；铺贴卷材应平整、顺直，搭接尺寸正确，不得有扭曲、褶皱；接缝口应用密封材料封严，其宽度不应小于 10mm。

(4) 热熔法铺贴卷材，火焰加热器加热卷材应均匀，不得过分加热或烧穿卷材；厚度小于 3mm 的高聚物改性沥青防水卷材，严禁采用热熔法施工；卷材表面热熔后应立即滚铺卷材，排除卷材下面的空气，并辊压黏结牢固，不得有空鼓、皱折；滚铺卷材时接缝部位必须溢出沥青热溶胶，并应随即刮封接缝使接缝黏结严密；铺贴后的卷材应平整、顺直，搭接尺寸正确，不得有扭曲。

8.2.5 涂料防水

1. 防水涂料材料

1) 适用于地下工程的有机防水涂料

(1) 反应型：聚氨酯、硅橡胶、氯丁橡胶、丙烯酸酯等。

(2) 水乳型：丙烯酸酯、聚氯乙烯、丙烯酸酯、丁苯、聚硫环氧等。

(3) 聚合物型：阳离子氯丁橡胶沥青、羧基氯丁橡胶沥青、再生橡胶沥青。

(4) 沥青类：石棉沥青、膨润土沥青。

2) 适用于地下工程的无机防水涂料

(1) 水泥基：丙烯酸酯、乙酸乙烯 - 丙烯酸酯共聚物、乙烯 - 乙酸乙烯共聚物等聚合物水泥复合涂料。

(2) 水泥基渗透结晶型：水泥基结晶渗透涂料（如 XYPEX 等）。

(3) 水化反应涂层材料：水不漏、PYXON 涂层材料、防水宝、确保时。

防水涂料厚度选用应符合表 8-7 的规定。

表 8-7 防水涂料厚度（mm）

设防道数	有机涂料			无机涂料	
	反应型	水乳型	聚合物水泥	水泥基	水泥基渗透结晶型
三道或三道以上设防	1.2 ～ 2.0	1.2 ～ 1.5	1.5 ～ 2.0	1.5 ～ 2.0	≥ 0.8
二道设防	1.2 ～ 2.0	1.2 ～ 1.5	1.5 ～ 2.0	1.5 ～ 2.0	≥ 0.8
一道设防	—	—	≥ 2.0	≥ 2.0	—
复合设防	—	—	≥ 1.5	≥ 1.5	—

2. 涂料防水施工

1) 施工工艺

基层找平与清理→喷涂基层处理剂→特殊部位附加增强处理→涂布防水涂料及铺贴胎体增强材料→清理与检查修整。

2) 施工要点

(1) 涂料涂刷前应先在基面上涂一层与涂料相容的基层处理剂。

(2) 涂膜应多遍完成，涂刷应待前遍涂层干燥成膜后进行。

(3) 每遍涂刷时应交替改变涂刷方向，同层涂膜的先后搭槎宽度宜为 30 ～ 50mm。

(4) 涂料防水层的施工缝（甩槎）应注意保护，搭接缝宽度应大于 100mm，接涂前应将其甩槎表面处理干净。

(5) 涂刷程序应先做转角处、穿墙管道、变形缝等部位的涂料加强层，后进行大面积涂刷。

(6) 涂料防水层中铺贴的胎体增强材料，同层相邻的搭接宽度应大于 100mm，上下层接缝应错开 1/3 幅宽。

8.3 屋面防水工程

屋面防水工程包括卷材防水屋面、涂膜防水屋面、刚性防水屋面、瓦屋面、金属防水屋面等。目前主要采用的是卷材防水屋面、涂膜防水屋面及刚性防水屋面。

根据《屋面工程技术规范》(GB 50345—2012) 规定，屋面工程应根据建筑物的性质、重要程度、使用功能按不同等级进行设防，并应符合表 8-8 的要求。

表 8-8 屋面防水等级和设防要求

防水等级	建筑类别	设防要求
Ⅰ级	重要建筑和高层建筑	两道防水设防
Ⅱ级	一般建筑	一道防水设防

8.3.1 卷材防水屋面

卷材防水屋面是指利用胶粘剂粘贴卷材或利用带底面胶粘剂的卷材进行热熔或冷粘贴于屋面基层进行防水的屋面。卷材屋面构造层次如图 8.4 所示。卷材防水屋面施工方法有热施工、冷施工及机械固定等。卷材屋面是目前屋面防水的一种主要方法，尤其是在重要的工业与民用建筑中，应用十分广泛。

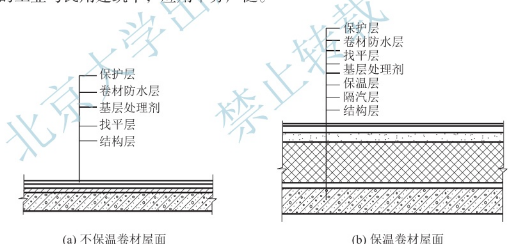


图 8.4 卷材屋面构造层次图

1. 防水材料

1) 卷材

防水卷材（图 8.5）可分为高聚物改性沥青卷材、合成高分子卷材、沥青卷材、金属卷材、膨润土毯等，目前常用的有高聚物改性沥青防水卷材和合成高分子防水卷材。



图 8.5 石油沥青卷材

2）高聚物改性沥青防水卷材

高聚物改性沥青防水卷材是指以合成高分子聚合物改性沥青为涂盖层，用纤维织物或纤维毡为胎体，以粉状、片状为覆面材料制成的可卷曲的防水材料。该类卷材具有较好的低温柔性和延伸率，抗拉强度好。常见的品种、特点和适用范围见表 8-9。

表 8-9　高聚物改性沥青防水卷材的品种、特点及适用范围

高聚物改性沥青防水卷材种类	特　点	适用范围	施工方法
SBS 型改性沥青防水卷材	耐高温、低温性能有明显提高，卷材的弹性和耐疲劳性明显改善	单层铺设的屋面防水工程或复合使用	冷施工或热熔铺贴
APF 型改性沥青防水卷材	具有良好的强度、延伸性、耐热性、耐紫外线照射及耐老化性能，耐低温性能稍低于 SBS 型改性沥青防水卷材	单层铺设适合于紫外线辐射强烈及炎热地区屋面使用	热熔法或冷粘法铺设
PVC 型改性焦油防水卷材	具有良好的耐热及耐低温性能，最低开卷温度为 -18℃	有利于冬季负温下施工	可热作业，也可冷作业
再生胶改性沥青防水卷材	具有一定的延伸性，且低温柔性较好，具有一定的防腐能力，价格低廉，属于低档防水卷材	变形较大或档次较低的屋面防水工程	热沥青粘贴

3）合成高分子防水卷材

合成高分子防水卷材是指以合成橡胶、合成树脂或两者的混合体为基料，加入适量的化学助剂和填充料，经混炼、压延或挤出等工序加工而成的可卷曲片状防水材料。此类卷材具有良好的低温柔性和适应基层变形的能力，耐久性好，使用年限较长。合成高分子防水卷材一般采用单层铺设。合成高分子防水卷材的特点和适用范围见表 8-10。

表 8-10　合成高分子防水卷材的特点和适用范围

卷材种类	特　点	适用范围	施工方法
三元乙丙橡胶防水材料	防水性能优异，耐候性好、耐腐蚀性强、弹性和抗拉强度大，对基层变形开裂的适应性强，质量轻，使用温度范围宽，寿命长，但价格高	单层或复合使用。适用于屋面防水技术要求较高，防水层耐用年限要求长的工业与民用建筑	冷粘法或自粘法
氯化聚乙烯防水卷材	具有良好的耐候、耐臭氧、耐热老化、耐油、耐化学腐蚀及抗撕裂的性能	单层或复合使用。适用于紫外线强的炎热地区	冷粘法施工
聚氯乙烯防水卷材	具有较高的抗拉伸和抗撕裂强度，延伸率较大，耐老化性能好，原材料丰富，价格便宜，容易黏结	单层或复合使用。适用于外漏或有保护层的屋面防水	冷粘法或热风焊接法施工

（续）

卷材种类	特　点	适用范围	施工方法
氯化聚乙烯-橡胶共混防水卷材	既具有氯化聚乙烯特有的高强度和优异的耐臭氧、耐老化性能，又具有橡胶特有的高弹性、高延伸性以及良好的低温柔性	单层或复合使用。尤其适用于寒冷地区或变形较大的屋面	冷粘法施工
氯硫化聚乙烯防水卷材	延伸率大，弹性较好，对基层变形开裂的适应性较强，耐高、低温性能好，耐腐蚀性能优良，难燃性好	适应于有腐蚀介质影响及在寒冷地区的屋面工程	冷粘法施工
三元乙丙橡胶-聚乙烯共混防水卷材	具有良好的耐臭氧和耐老化性能，使用寿命长，低温柔性好，可在负温条件下施工	单层或复合使用于外漏防水屋面，宜在寒冷地区使用	冷粘法施工
丁基橡胶防水卷材	具有较好的耐候性、抗拉强度和延伸率，耐低温性能稍低于三元乙丙橡胶防水材料	单层或复合使用。适用于要求较高的屋面防水工程	冷粘法施工

2. 基层处理剂

在防水层施工之前预先涂刷在基层上的涂料称为基层处理剂。不同种类的卷材应选用与其材性相容的基层处理剂。高聚物改性沥青防水卷材用的基层处理剂可选用氯丁胶沥青乳液、橡胶改性沥青溶液和冷底子油等；合成高分子防水卷材用的基层处理剂可选用聚氯酯二甲苯溶液、氯丁橡胶溶液和氯丁胶沥青乳液等。

3. 合成高分子胶粘剂

粘贴防水卷材用的胶粘剂品种多、性能差异大，选用时应与所用卷材的材性相容，才能很好地粘贴在一起，否则就会出现粘贴不牢，脱胶开口，甚至发生相互间的化学腐蚀，使防水层遭到破坏。

(1) 贴高聚物改性沥青防水卷材时，可选用橡胶或再生橡胶改性沥青的汽油溶液或水乳液作胶粘剂。

(2) 粘贴合成高分子防水卷材时，可选用以氯丁橡胶和丁酚醛树脂为主要成分的胶粘剂，或以氯丁橡胶乳液制成的胶粘剂。

(3) 合成高分子胶粘剂的黏结剥离强度不应小于15N/10mm，浸水后黏结剥离强度保持率不应小于70%。

4. 卷材防水层施工

卷材防水层的施工流程：基层表面清理、修整→喷、涂基层处理剂→节点附加层处理→定位、弹线、试铺→铺贴卷材→收头处理、节点密封→保护层施工。

1) 基层和找平层

(1) 基层采用装配式钢筋混凝土板时，要求板安置平稳，板端缝要密封处理，板端、

板的侧缝应用细石混凝土灌缝密实，其强度等级不应低于C20。板缝经调节后宽度仍大于40mm以上时，应在板下设吊模，补放构造钢筋后，再浇细石混凝土。强制性条文规定：屋面（含天沟、檐沟）找平层的排水坡度必须符合设计要求。

(2) 找平层的作用是保证卷材铺贴平整、牢固；找平层必须清洁、干燥。

(3) 常用的找平层分为水泥砂浆找平层、细石混凝土找平层和沥青砂浆找平层。

2) 搭接方法、宽度和要求

(1) 卷材配置如图8.6所示。

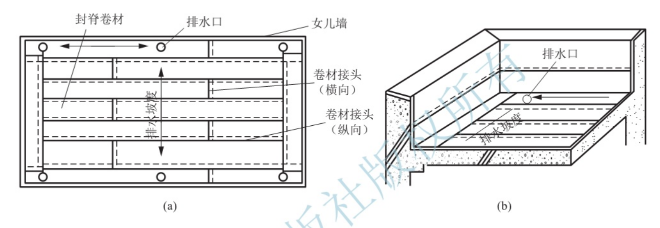


图8.6　卷材配置示意图

(2) 卷材搭接宽度要求（图8.7）。铺贴卷材应采用搭接法，叠层铺设的卷材，上下层及相邻两幅卷材的搭接缝应错开。屋面工程中平行于屋脊的搭接缝应顺流水方向搭接；垂直于屋脊的搭接缝应顺年最大频率风向（主导风向）搭接。叠层铺设的各层卷材，在天沟与屋面的连接处应采用叉接法搭接，搭接缝应错开；接缝宜留在屋面或天沟侧面，不宜留在沟底。坡度超过25%的拱形屋面和天窗下的坡面上，应尽量避免短边搭接，如必须短边搭接时，在搭接处应采取防止卷材下滑的措施。如预留凹槽，卷材应嵌入凹槽并用压条固定密封。屋面工程各种卷材的搭接宽度应符合表8-11的要求。

表8-11　卷材搭接宽度表(mm)

<table>
<tr><td colspan="2">项　目</td><td colspan="2">短边搭接</td><td colspan="2">长边搭接</td></tr>
<tr><td colspan="2">铺贴方法</td><td rowspan="2">满粘法</td><td rowspan="2">空铺法
点粘法
条粘法</td><td rowspan="2">满粘法</td><td rowspan="2">空铺法
点粘法
条粘法</td></tr>
<tr><td colspan="2">卷材种类</td></tr>
<tr><td colspan="2">沥青防水卷材</td><td>100</td><td>150</td><td>70</td><td>100</td></tr>
<tr><td colspan="2">高聚物改性沥青防水卷材</td><td>80</td><td>100</td><td>80</td><td>100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">合成高分子
防水卷材</td><td>黏结法</td><td>80</td><td>100</td><td>80</td><td>100</td></tr>
<tr><td>焊接法</td><td colspan="4">50</td></tr>
</table>

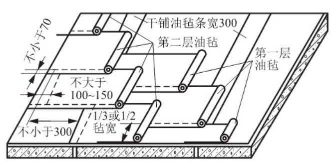


图 8.7　卷材水平铺贴搭接要求示意图

3）屋面卷材的铺贴

（1）屋面卷材的铺贴方向。在屋面工程中，卷材有平行屋脊和垂直屋脊铺贴两种铺贴方向。平行屋脊铺设时，卷材的长向搭接缝可以顺流水方向，易于保证防水质量，而且施工速度快、工效高，但在坡度较大的屋面上防水层易产生流淌、下滑现象。因此，卷材的铺贴方向应根据屋面坡度和屋面是否有振动来确定。当屋面坡度小于 3% 时，卷材宜平行于屋脊铺贴；屋面坡度在 3% ～ 15% 时，卷材可平行或垂直于屋脊铺贴；屋面坡度大于 15% 或受振动时，沥青卷材、高聚物改性沥青卷材应垂直于屋脊铺贴。合成高分子卷材可根据屋面坡度、屋面有否受振动、防水层的黏结方式、黏结强度、是否机械固定等因素，综合考虑采用平行或垂直屋脊铺贴。上下层卷材不得相互垂直铺贴。屋面坡度大于 25% 时，卷材宜垂直屋脊方向铺，并应采取固定措施。

（2）施工顺序。屋面工程应先做好排水比较集中部位（如屋面与水落口连接处等）的处理，然后由屋面最低标高处向上施工。铺贴天沟、檐沟卷材时，宜顺天沟、檐口方向，减少搭接。铺贴多跨和有高低跨的屋面时，应按先高后低、先远后近的顺序进行。大面积施工时，可根据面积大小、基层形状、施工工艺顺序、人员数量等因素划分流水施工段，以提高工效和加强管理。施工段的界线宜设在屋脊、天沟、变形缝等处。

（3）卷材的铺贴方法。卷材的铺贴方法分为满粘法、空铺法、点粘法和条粘法等。

①满粘法也称全粘法，即铺贴卷材时，卷材与基层采用全部粘贴的方法。

②空铺法，即铺贴防水卷材时卷材与基层在四周一定宽度内黏结，其余部分不黏结的方法。

③点粘法，即铺贴防水卷材时，卷材或打孔卷材与基层采用点状黏结，要求每平方米黏结 5 个点，每点黏结面积为 100mm×100mm，卷材之间仍按满粘的施工方法。

④条粘法，即铺贴防水卷材时，卷材与基层采用条状黏结。要求每幅卷材与基层黏结面不少于两条，每条宽度不小于 150mm，卷材之间仍按满粘的方法施工。

5. 卷材铺贴工艺

卷材铺贴时按其铺贴的施工工艺，分为冷粘法、热熔法、自粘法和热风焊法等。冷粘法，即在常温下采用胶粘剂等进行卷材与基层、卷材与卷材间进行黏结的施工方法；热熔法，即采用火焰加热器熔化热熔型防水卷材底层的热熔胶进行黏结的施工方法；自粘法，即采用带有自粘胶的防水卷材进行黏结的施工方法；热风焊法，即采用热风焊枪进行防水卷材搭接粘合的施工方法。

1）热熔法施工

热熔法施工常用于 SBS 改性沥青防水卷材、APP 改性沥青防水卷材等与基层的黏结施工。采用该方法可节省冷粘剂，降低防水工程造价，特别是当气温较低时或屋面基层略有湿气时尤其适合。施工时火焰加热器的喷嘴应距卷材面 0.5 ～ 1.0m，应加热均匀，不得过分加热或烧穿卷材，卷材厚度小于 3mm 时严禁采用热熔法。卷材表面热熔后应立即铺贴，应排除卷材下面的空气，使之平展，不得有褶皱，并辊压粘贴牢固，不得空鼓。滚压时，以卷材边缘溢出少量的热熔胶为宜，溢出的热熔胶应随即刮封接口。整个防水层粘贴完毕，所有搭接缝用密封材料予以严密封涂。高聚物改性沥青卷材严禁在雨天、雪天施工，五级风及其以上时不得施工，气温低于 0℃时不宜施工。

2）冷粘法施工

冷粘法施工常用于 SBS 改性沥青卷材、APP 改性沥青卷材、铝箔面改性沥青卷材等与基层的黏结施工。胶粘剂涂刷应均匀，不露底，不堆积。根据胶粘剂的性能，合理控制涂刷与卷材铺贴的间隔时间。铺贴卷材时，应根据卷材的配置方案，在流水坡度的下坡开始弹出基准线，边涂刷胶粘剂边向前滚铺卷材，并及时辊压压实。滚铺时卷材下空气应排尽。平面与立面相连接处的卷材，应由下向上压缝铺贴，并使卷材紧贴阴角。当立面卷材超过 300mm 时，应用氯丁系胶粘剂进行粘贴或用木砖钉木压条与粘贴并用的方法处理，以达到粘贴牢固和封闭密实的目的。叠层粘贴时，上、下层及相邻两幅搭接均应错开，上、下层错开 1/3 幅，相邻两幅短边搭接错开 1/2 幅。

3）热风焊接法施工

热风焊接法对于热塑性合成高分子较为适用，除搭接缝外，其他施工要求与冷粘法一致。接缝处采用热风焊接是为了确保防水层搭接缝的可靠性。接缝的接合面应清扫干净，确保无水珠、污垢、灰尘、砂粒等。搭接面处焊接前的卷材应铺放平整，不得有褶皱，搭接部位按事先弹好的标准线对齐。焊接时，应先按长边搭接缝，后短边搭接缝。控制热风加热温度和时间，焊接处不得有漏焊、跳焊、焊焦或焊接不牢现象。焊接时不得损害非焊接部位的卷材。

8.3.2　涂膜防水屋面

涂膜防水屋面是指在屋面基层表面涂刷以高分子合成材料为主的防水材料，经过固化后形成一定厚度和弹性的整体涂膜防水层，从而达到防水效果的屋面，适用于各种混凝土屋面的防水。

1. 材料

1）防水涂料

（1）防水涂料根据涂料的成分可分为沥青基防水涂料、高聚物改性沥青防水涂料、合成高分子防水涂料。目前，应采用高聚物改性沥青防水涂料及合成高分子防水涂料。

①高聚物改性沥青防水涂料。高聚物改性沥青防水涂料是指用合成高分子聚合物对

沥青进行改性而配制成的水乳型或溶剂型防水涂料，属于薄质材料，与沥青基防水涂料相比，其抗裂性、气密性、耐化学腐蚀性、耐光性等各种性能比前者均有较大改善。目前，我国使用的高聚物改性沥青防水涂料主要有 SBS 弹性沥青防水冷胶料、再生橡胶防水涂料、氯丁橡胶沥青涂料等。

②合成高分子防水涂料。合成高分子防水涂料是指以合成橡胶或合成树脂为主要成膜物质配制成的单组分或多组分的防水涂料，也属于薄质材料。与前两类防水涂料相比，弹性、耐久性、耐高温性等性能都较好，适用于防水要求高的屋面。目前，我国使用最多的合成高分子防水涂料主要有聚氨酯防水涂料和丙烯酸酯防水涂料等。

涂料防水层的厚度要求见表 8-12。

表 8-12 涂料防水层的厚度要求（mm）

防水等级	合成高分子防水涂膜	聚合物水泥防水涂膜	高聚物改性沥青防水涂膜
Ⅰ级	1.5	1.5	2.0
Ⅱ级	2.0	2.0	3.0

(2) 根据涂料形成液态的方式可分为溶剂型、反应型及水乳型。

①溶剂型涂料。溶剂型涂料是以各种有机溶剂溶解高分子而成的液态涂料。其成膜迅速，生产工艺简单，储存稳定性好，但易燃、易爆，储运和施工中要注意安全和防护。

②反应型涂料。反应型涂料是主要成膜物质高分子预聚物与添加物质经化学反应而结膜形成的，可一次结成较厚的涂膜，涂膜致密且成膜时无体积收缩，但配制必须准确，搅拌均匀，才能保证质量。其成本较高。

③水乳型涂料。水乳型涂料是指高分子材料及沥青材料等在水中形成乳液状涂料。其无味、无毒、不燃，可在较潮湿的基层上施工，但涂膜干燥慢，成膜的致密性较低，不宜低温下施工。

2) 密封材料

密封材料是指填充于建筑物及构筑物的接缝、门窗框四周、玻璃镶嵌部位以及裂缝处，能起到水密、气密性作用的材料。目前，我国常用的屋面密封材料包括改性沥青密封材料和合成高分子密封材料两大类。

3) 胎体增强材料

胎体增强材料是指在涂膜防水层中增强用的聚酯无纺布、化纤无纺布、玻纤网格布等材料。

2. 涂料防水屋面施工

施工程序：基层找平与清理→喷涂基层处理剂→特殊部位附加增强处理→涂布防水涂料及铺贴胎体增强材料→清理与检查修整→保护层施工。

施工要点如下。

(1) 找平层施工。找平层的种类、质量要求及其施工同卷材防水屋面找平层施工。

(2) 喷涂基层处理剂。待屋面基层干燥后，进行基层处理剂的涂刷，基层处理剂应充分搅拌，涂布应均匀，不得过厚或过薄。

(3) 特殊部位附加增强处理。在屋面的水落管、檐沟、女儿墙根部、阴阳角等加铺附加层，先涂刷一遍涂料，待干燥后再涂刷一道防水涂料。水落管口处四周与檐沟交接处应先用密封材料密封，后加铺附加层，附加层涂膜伸入水落管杯的深度不少于50mm。在板端设置缓冲层，缓冲层用 200 ～ 300mm 的聚乙烯薄膜空铺在板缝上，然后再增铺有胎体增强材料的空铺附加层。

(4) 涂布防水涂料。涂膜应根据防水涂料的品种分层分遍进行，不得一次完成，待先涂的涂层干燥后方可涂后一遍涂料。天沟、檐口、檐沟、泛水等部位的收头应用防水涂料多遍涂刷或用密封材料封严。

(5) 铺贴胎体增强材料。屋面坡度小于 15% 时应平行于屋脊铺设，大于 15% 时应垂直于屋脊铺设。当采用两层胎体增强剂时，上、下层不得相互垂直铺设，搭接缝应错开，间距不应小于幅宽的 1/3。胎体长边搭接宽度不应小于 50mm，短边搭接宽度不应小于 70mm。

8.3.3 刚性防水屋面

刚性防水屋面包括细石混凝土屋面、补偿收缩混凝土屋面、块体刚性防水屋面等，一般应采用细石混凝土屋面，其主要适用于防水等级为Ⅱ级的屋面防水，也可作为Ⅰ级屋面多道防水设防中的一道防水层，刚性防水屋面构造层次如图 8.8 所示。因其具有优异的硬度、强度、厚度，抗穿刺能力强，而应用广泛，但它对地基不均匀沉降、温度变化、结构振动等因素均非常敏感，很少用于设有松散材料保温层以及受较大振动或冲击和坡度大于 15% 的建筑屋面。

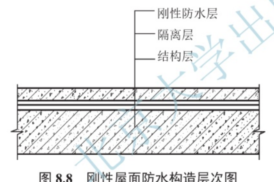


图 8.8　刚性屋面防水构造层次图

1. 材料

1) 水泥

宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，当采用硅酸盐水泥时应采取减小泌水性的措施。不得使用火山灰质材料，水泥的强度等级不低于 42.5MPa，混凝土水灰比不应大于 0.55，每立方米混凝土水泥最小用量不应小于 330kg，混凝土的强度等级不应低于C20。

2) 粗骨料

宜采用质地坚硬，最大粒径不超过 15mm，级配良好，含泥量不超过 1% 的碎石或砾石，否则应冲洗干净。

3) 细骨料

细骨料宜采用粒径为 0.3 ～ 0.5mm 的中砂或粗砂，含砂率宜为 35% ～ 40%；细骨料含泥量不应大于 2%。

4）外加剂

刚性防水层中使用的膨胀剂、减水剂、防水剂、引气剂等外加剂应根据不同品种的适用范围、技术要求来选择。

2. 刚性防水屋面施工

1）施工程序

清理板面、灌缝→找平层施工→隔离层施工→绑扎防水层钢筋网片→安装分格条和支边模→浇防水层混凝土并留置试块→振捣压实抹平→拆除分格条和支边模→二次收光→清扫分格缝→保护层施工及刷冷底子油→嵌填密封膏。

2）施工要点

(1) 隔离层施工。在防水层及基层间宜设置隔离层，以减少因结构变形使防水混凝土产生拉应力，减少刚性防水层的开裂，多采用低强度等级砂浆、卷材、塑料薄膜等材料。隔离层施工完后，应加强保护。

(2) 绑扎防水层钢筋网片。应配置双向网片于防水层的中部，钢筋网片在分隔缝处应断开，其保护层厚度不应小于 10mm。

(3) 安装分格条和支边模。分隔缝宜设在屋面板的支承端、屋面转折处、防水层与突出屋面结构的交接处，其纵横间距不宜大于 6m。用水泥素浆或水泥砂浆固定木条，尺寸、位置应正确。

(4) 浇防水层混凝土并留置试块。防水层的厚度不宜小于 40mm，混凝土按设计要求拌和，浇筑时按先远后近、先高后低的原则逐个分格进行，一个分格缝范围内的混凝土必须一次浇捣完成，不得留施工缝。

(5) 嵌填密封膏。防水层与立墙及突出屋面结构等交接处，均应做柔性密封处理；分格缝处必须有防水措施，通常采用油膏嵌缝，有的在缝口上再做覆盖保护层。

8.4 卫生间防水工程

8.4.1 卫生间的构造

卫生间的剖面示意图如图 8.9 所示。

1. 结构层

卫生间地面结构层一般有三种：整体现浇钢筋混凝土板、预制整块开间钢筋混凝土板、预制圆孔板。如设计采用预制圆孔板时，通过卫生间的板缝应用防水砂浆堵严、抹平，表面加玻纤布一层，涂刷两道涂膜防水材料。

2. 找坡层

应向地漏找 2% 坡度。找坡层厚度小于 30mm 时，用混合砂浆（水泥：白灰：砂

=1:1.5:8)；厚度大于 30mm 时，用 1:6 水泥焦渣垫层。

3. 找平层

一般为 1:2.5 的水泥砂浆找平层，要求抹平、压光。

4. 防水层

地面防水层一般采用涂膜防水材料。热水管、暖气管应加套管，套管应高出地砖 40mm 左右。防水层施工前，应在管根处用建筑密封膏嵌严（宽 10mm× 深 15mm）。然后再做地面防水层。四周防水层卷起高度应按设计要求，并与立墙防水层交接好。

5. 面层

地面装饰层可采用 1:2.5 的水泥砂浆抹平、压光，或根据设计要求做地面砖等。

卫生间墙面防水须考虑设计要求及隔墙材料。使用圆孔石膏板或纸面石膏板隔墙时，要求立面防水层做至 1.8m 高，然后甩砂、抹水泥砂浆面层或贴瓷砖装饰层。

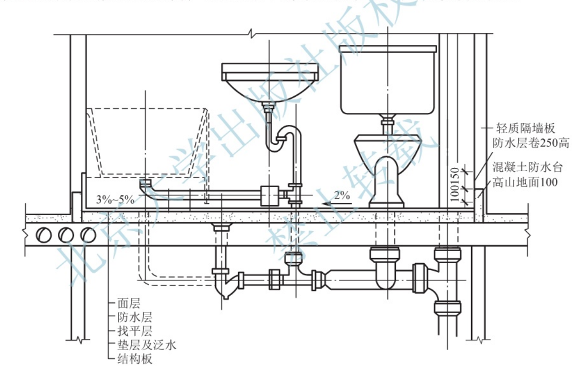


图 8.9　卫生间的剖面示意图

6. 对基层的要求

(1) 防水层施工前，所有管件、地漏等必须安装牢固、接缝严密。上水管、热水管、暖气管必须加套管，套管应高出地砖面。

(2) 地面坡度为 2%，向地漏处排水；地漏处的排水坡度，以地漏周围半径 50mm 之内排水坡度为 5% 为准，地漏处一般低于地面 20mm。

(3) 水泥砂浆找平层应平整、坚实、抹光，无麻面、起砂松动及凹凸不平现象。

(4) 阴阳角、管道根处应抹成半径为 100 ～ 150mm 的圆弧。

(5) 穿地面的立管套管周围，应检查是否用水泥砂浆（缝隙较小时）或细石混凝土（缝隙较大时）填实。检查方法：用楔子凿管子周围与楼板结合处时，不应有空洞及松动。防水施工前必须检查这些部位，如发现有空洞及未填实等情况，应重新凿开补好再做防水。立管及套管周围应高出地面不小于 20mm，并在粉刷找平层时抹成圆台。

8.4.2 卫生间防水施工

卫生间涂膜防水以聚氨酯防水涂料、氯丁胶乳沥青防水涂料（或改性沥青防水涂料）使用得较多，聚氨酯防水涂料的施工与屋面施工基本相同。氯丁胶乳沥青防水涂料的施工方法如下。

1. 工艺流程

清理基层→刮氯丁胶乳沥青水泥腻子→涂刷第一遍涂料（表干 4h）→做细部构造附加层→铺贴玻纤网格布同时刷第二遍涂料→涂刷第三遍涂料→铺贴玻纤网格布同时刷第四遍涂料→涂刷第五遍涂料→涂刷第六遍涂料并及时撒砂粒→防水层一次试水→保护层、饰面层施工→防水层二次试水→防水层验收。

2. 操作要点

(1) 清理基层。卫生间防水施工前，将基层砂浆、杂物清理干净。

(2) 刮氯丁胶乳沥青水泥腻子。在清理干净的基层上满刮一遍氯丁胶乳沥青水泥腻子。管根和转角处要厚刮并抹平整。腻子的配制方法是：将氯丁胶乳沥青防水涂料倒入水泥中，边倒边搅拌至稠浆状即可刮涂于基层。腻子的厚度为 2 ～ 3mm。

(3) 涂刷第一遍涂料。待上述腻子干燥后，满刷一遍防水涂料，涂刷不能过厚，不得漏刷，以表面均匀不流淌、不堆积为宜。立面刷至设计高度。

(4) 做细部构造附加层。在细部构造部位，如阴阳角、管道根部、地漏、大便器蹲坑等处分别附加一布二涂附加层。

(5) 铺贴玻纤网络布，同时涂刷第二遍涂料。附加层做完并干燥后，大面铺贴玻纤网格布，同时涂刷第二遍防水涂料，使防水涂料浸透布纹渗入下层。玻纤网格布搭接宽度不小于 100mm，立面贴至设计高度，顺水接槎，收口处贴牢。

(6) 涂刷第三遍涂料。待上述涂料实干后 (24h)，满刷第三遍防水涂料，涂刷要均匀，不得漏刷。

(7) 铺贴玻纤网格布，刷第四遍涂料。在上述涂料表干后 (4h)，铺贴第二层玻纤网格布同时满刷第四遍防水涂料。第二层玻纤网格布与第一层玻纤网格布接槎要错开，涂刷防水涂料时应均匀，将布展平无褶皱。

(8) 待上述涂层实干后，满刷第五遍、第六遍防水涂料。

(9) 待整个防水层实干后，可做蓄水试验。蓄水时间不少于 24h，无渗漏为合格。然后做保护层或饰面层施工。在饰面层完工后，工程交付使用前应进行第二次蓄水试验，以确保卫生间防水工程质量。

3. 工程验收

(1) 应提供现场施工用的氯丁胶乳沥青防水涂料技术性能复试报告及其他材料、技术、质量等证明资料。

(2) 检查胎体增强材料的铺贴方法、压接顺序、搭接宽度是否符合施工工艺要求。如：搭接保证 100mm 以上；上、下两层铺贴应相互错开 300mm，粘贴牢固，无滑移、翘边、起泡、褶皱等缺陷。

(3) 其他同聚氨酯涂膜防水工程验收。

4. 成品保护与注意事项

基本与涂膜防水的相关部分相同。卫生间有很多管道从地面穿过，这些部位是最容易发生渗漏的地方，防水施工时尤其要处理好。

1) 上、下水管根部的处理

立管定位后与楼板四周的缝隙较小时，用 1:3 水泥砂浆堵严实，缝较大时应用细石混凝土浇实。有条件时应加入膨胀剂。楼板边缘如有松动的石块，要清理掉并用水冲洗干净。浇筑时要使管根周围 5cm 内高出楼板，并做成凸台，与楼板连接处抹成圆角。凸台的高度根据排水坡度确定，管根部与地漏的排水坡度以 2% 为宜（图 8.10）。

管子周围先用密封膏（10mm×10mm）封一道，上面再做涂膜防水层，管根部位要多做一层。

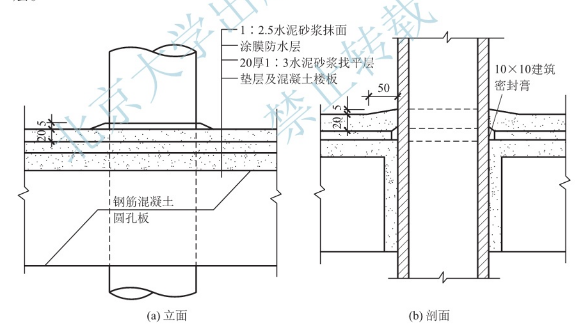
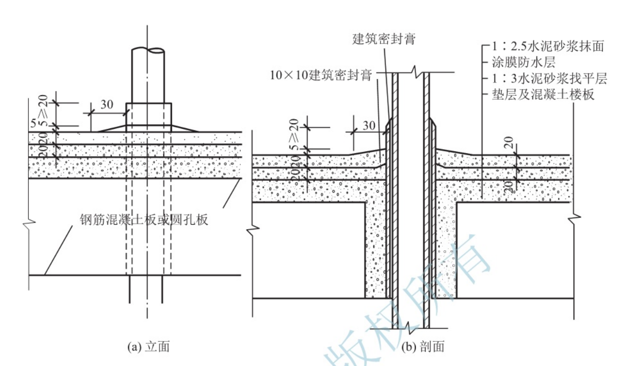


图 8.10　上、下水管根部的处理

2) 套管根部的处理

钢套管根部的处理与上、下水管基本相同。暖气管、热水管必须加钢套管，钢套管应高出地砖表面 30 ～ 40mm，套管的内径应比热水管外径大 5 ～ 7mm，管缝用密封膏封严（图 8.11）。

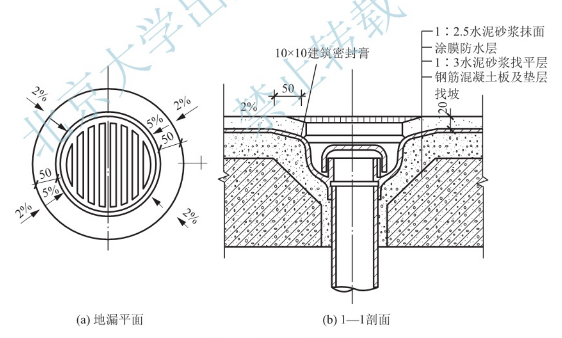


(a) 立面　　(b) 剖面

图 8.11　钢套管防水做法

3）卫生间地漏防水做法

地漏上口平面要低于防水层 20mm，地漏管的处理与上面相同（图 8.12）。

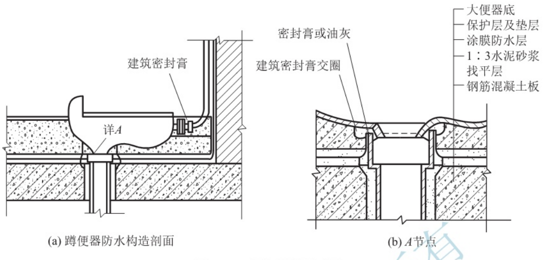


(a) 地漏平面　　(b) 1—1剖面

图 8.12　卫生间地漏做法

4）蹲便器的处理

蹲便器立管处理同上。蹲便器与立管接口处要用密封膏封严。蹲便器与冲水管连接的皮碗要用直径 1 ～ 1.2mm 的铜丝扎牢（图 8.13）。



(a) 蹲便器防水构造剖面　　(b) A节点

图 8.13　蹲便器防水做法

8.4.3　渗漏卫生间的修缮

已使用的卫生间发生渗漏后，首先要查清渗漏的原因，再根据卫生间的结构、使用要求，提出修缮方案。

1. 只有一个蹲便器的卫生间

其冲水管与蹲便器的连接处最容易漏水，原因是潮湿的环境中护铁丝很快锈蚀断掉。故按规定：连接的橡胶皮碗应当用直径 1.0 ～ 1.2mm 的铜丝而非铁丝绑扎两道；另一个原因是皮碗老化。因皮碗老化而导致的漏水，往往是冲水后马上渗漏到楼下，比较容易判断。处理的办法是：凿开连接处的水泥砂浆表面，换上新皮碗并用铜丝扎紧后，用砂子填实，上面再抹一层 1.5mm 厚的砂浆，以便下次再换皮碗时容易凿开。

2. 安放淋浴器的厕所

厕所里如安有淋浴器，若地面没有裂纹，可选用 M1500、有机硅防水剂等涂刷；如有裂纹，可用“堵漏灵”、建筑胶粉、聚合物水泥砂浆等处理。

这类厕所在排水处理时，可将水直接排入蹲便池，坡度以 3% 为宜。

3. 公用的卫生间

大部分公共卫生间的渗漏发生在管道口部位。由于其结构层大部分是现浇混凝土板，故渗漏一般是在安装管道时，管道与结构层连接处未填实，也未做好防水处理。比较简单可行的办法是将管道口周围 30 ～ 50cm 内凿开，凿时不能用力太大，以免结构层出现新的裂缝，凿开做防水处理后再用掺膨胀剂的水泥砂浆补平。

4. 使用中卫生间的修缮

已经使用的卫生间修缮时，基层一般比较潮湿，应选用上述“堵漏灵”、建筑胶粉等可在潮湿基层上使用的防水材料先涂刷一道，再用溶剂型防水涂料处理。这样可以缩短工期。

近年来，聚合物水泥类防水材料发展很快，JS防水涂料就是其中的一种。聚合物水泥类防水材料中，聚合物的种类很多，常用的有“丙烯酸酯共聚物”“乙烯－乙酸乙烯酯共聚物（VAE）”“氯丁胶乳”“丁苯胶乳”等。聚合物水泥类防水涂料具有水泥的优点，如强度高，可在潮湿基层上施工；又兼有聚合物的优点，如涂膜的弹性大、防水性好、施工简单、无污染等。所以广泛用于各类防水工程、界面处理、结构密封等。但目前市售的部分此类产品存在以下不足之处：一是耐水性差、吸水率大，长期浸水后明显软化，强度下降；二是抗紫外线能力不强，耐候性差，有的产品在屋面暴露两三年后明显发硬，延伸率下降。针对以上缺点，已经有改进型的产品出现，我们在施工时应根据使用部位的不同选用不同的产品，才能保证防水工程的质量。

8.5 屋面保温工程

8.5.1 屋面保温原理

1. 常规屋面保温系统

传统屋面的保温层放置在屋面结构层与防水层之间，下设隔蒸汽层（图8.14）。但是，水蒸气透过结构层进入保温层后，会使保温层含水率增加。又因为保温层上面的防水层是不透气的，保温层中的水分不能散失，保温层会逐渐随着水分的增加而失去保温作用。

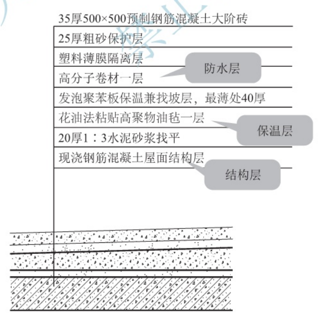


图8.14 常规屋面保温的构造

2. “倒置式”屋面保温系统

鉴于常规屋面保温系统的上述缺点，“倒置式”的屋面保温系统（将保温层放置在

屋面防水层之上，如图 8.15 所示）被人们广泛用于实际工程。

这种“倒置式”屋面保温系统可较好地保护防水层。保温层上部的保护层有良好的透水和透气性能。保温材料的拒水性能较高，本身的绝热性能受雨水浸泡的影响也最小 。

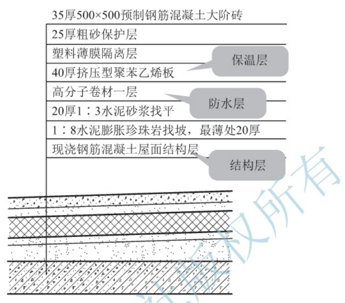


图 8.15 “倒置式”屋面保温构造

8.5.2 保温、隔热材料的性能及要求

保温材料既能阻止冬季室内热量通过屋面散发到室外，同时也能防止夏季室外热量（高温）传到室内，它起到保温和隔热的双重作用。如今室内空调普及，冬天要防止热量散发，夏天要防止冷气向室外传导，以减少能源的消耗，所以提高建筑工程的保温、隔热性能，节约能源是国家的一项重要国策。

1. 保温材料的种类

我国目前屋面保温层按形式可分为松散材料保温层、板状保温层和整体现浇保温层三种；按材料性质可分为有机保温材料和无机保温材料；按吸水率可分为高吸水率和低吸水率保温材料。保温材料的分类见表 8-13。

表 8-13 保温材料的分类

分类方法	类　型	品种举例
按形式划分	松散材料	炉渣，膨胀珍珠岩，膨胀蛭石，岩棉
	板状材料	加气混凝土，泡沫混凝土，微孔硅酸钙，憎水珍珠岩，聚苯乙烯泡沫板，泡沫玻璃
	整体现浇材料	泡沫混凝土，水泥蛭石，水泥珍珠岩，硬泡聚氨酯
按材料性质划分	有机材料	聚苯乙烯泡沫板，硬泡聚氨酯
	无机材料	泡沫玻璃，加气混凝土，泡沫混凝土，蛭石，珍珠岩

（续）

分类方法	类　型	品种举例
按吸水率划分	高吸水率（＞20%）	泡沫混凝土，加气混凝土，珍珠岩，憎水珍珠岩，微孔硅酸钙
	低吸水率（＜6%）	泡沫玻璃、聚苯乙烯泡沫板、硬泡聚氨酯

保温材料主要由表观密度、导热系数和含水率三项指标控制，此三项指标相互影响，表观密度大，导热系数值就大、保温性能就差；含水率大，导热系数值也大、保温性能也差，所以保温材料在一定强度的情况下，表观密度小、导热系数值小、含水率低，则保温材料为优。

2. 架空隔热制品的质量要求

(1) 非上人屋面的黏土砖强度等级不应低于 MU7.5；上人屋面的黏土砖强度等级不应低于 MU10。

(2) 混凝土板的混凝土强度等级不应低于 C20，板内宜加放钢筋网片。

3. 保温材料的贮存保管

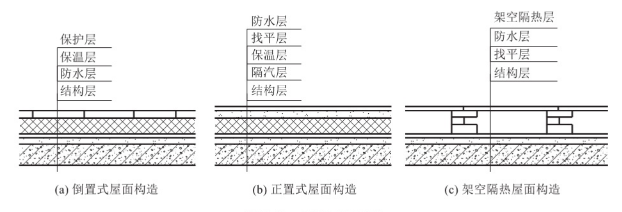
(1) 进场的保温材料应对密度、厚度、形状和强度进行检查，松散材料尚应进行粒径检查，施工时还应检查含水率是否符合设计要求。

(2) 保温材料储运保管时应分类堆放，防止混杂，并应采取防雨、防潮措施。块状保温板搬运时应轻放、防止损伤断裂、缺棱掉角，保证外形完整。

8.5.3　保温层构造及材料选用

1. 保温层构造

常规屋面分为倒置式屋面 [图 8.16(a)]、正置式屋面 [图 8.16(b)] 和架空隔热屋面 [图 8.16(c)]。



(a) 倒置式屋面构造　(b) 正置式屋面构造　(c) 架空隔热屋面构造

图 8.16　保温屋面构造

2. 保温材料的选用

(1) 屋面保温层应选用表观密度小、导热系数小、吸水率低、憎水性好的保温材料，尤其是整体封闭式保温层和倒置式屋面必须选用吸水率低的保温材料。

(2) 屋面保温材料的强度应满足搬运和施工的要求，在屋面上只要求不小于 0.1MPa 的抗压强度就可以满足。

(3) 保温材料含水率过大不能干燥或施工中浸水不能干燥时，应采取排汽屋面做法。

(4) 保温层的厚度应根据热工计算确定，但还应考虑自然状态下保温材料含水率对保温性能降低的因素。

8.5.4 倒置式屋面保温工程施工工艺

1. 工艺流程

屋面保温工程施工工艺流程如图 8.17 所示。

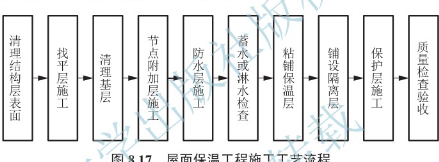


图 8.17　屋面保温工程施工工艺流程

2. 施工要点

1) 找平层施工

屋面结构层为现浇混凝土时，宜随捣随抹找平层（可加水泥砂浆），结构层为装配式预制板时，应在板缝浇灌掺膨胀剂的 C20 细石混凝土，然后铺抹水泥砂浆，找平层宜在砂浆收水后进行二次压光，表面应平整。

2) 基层处理

基层处理时，将屋面板清理干净，清除灰浆、杂物等，保持基层的干燥。使用强度等级大于 C20 的细石混凝土将装配式的钢筋混凝土面板缝填密实，当板缝过大时要在其中放置构造钢筋，并用细石混凝土填充后振捣密实。

3) 防水层施工

卷材防水层的卷材与基层间宜做空铺处理，卷材搭接缝应满粘，应黏结牢固、封闭严密。

4) 保温层的施工

(1) 块体保温材料须拼接严密，以防发生“热桥”的现象。

(2) 注意对发泡保温层做分格处理，以防止收缩裂缝。

8.5.5 其他屋面保温工程施工工艺

1. 松散材料保温层施工

松散保温材料主要有膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、工业炉渣等。工业炉渣由于堆积密度大、保温性能差，逐渐被新型保温材料所代替，而膨胀珍珠岩和膨胀蛭石具有其堆积密度小、保温性能高的优越性能，但当松铺材料保温层施工时，一旦遇雨或浸入施工用水，保温性能则大大降低，且容易引起柔性防水层鼓泡破坏，所以在干燥少雨地区尚在应用，而在多雨地区已很少采用了。同时，松散保温材料施工时，较难控制厚薄匀质性和压实表观密度。

施工要点如下。

(1) 松散材料保温层应干燥，含水率不得超过设计规定，否则应采取干燥措施或排汽措施。

(2) 松散材料保温层应分层铺设，并适当压实，每层虚铺厚度不宜大于 150mm；压实的程度与厚度应经试验确定；压实后不得直接在保温层上行车或堆放重物。

(3) 保温层施工完成后，应及时进行下道工序，抹找平层和防水层施工。雨期施工时，应采取遮盖措施，防止雨淋。

(4) 为了准确控制铺设的厚度，可在屋面上每隔 1m 摆放保温层厚度的木条作为厚度标准。

(5) 下雨和五级风以上不得铺设松散材料保温层。

(6) 铺抹找平层时，可在松散材料保温层上铺一层塑料薄膜等隔水物，以阻止砂浆中水分被吸收，造成砂浆缺水，强度降低，同时可避免保温层吸收砂浆中的水分而降低保温性能。

2. 板状保温材料施工

板状保温材料有水泥、沥青或有机材料作胶结料的膨胀珍珠岩、蛭石保温板、微孔硅酸钙板、泡沫混凝土、加气混凝土和岩棉板、挤塑或模压聚苯乙烯泡沫板、发泡聚氨酯板、泡沫玻璃等。其中，泡沫混凝土、加气混凝土等表观密度大、保温性能较差。目前生产的有机或无机胶结料憎水性膨胀珍珠岩和沥青作胶结料的膨胀珍珠岩、蛭石具有一定的憎水能力，吸水率在 50% 以下。聚苯乙烯泡沫板、泡沫玻璃和发泡聚氨酯吸水率低、表观密度小、保温性能好，应用越来越广泛。

施工要点如下。

(1) 铺设板状保温材料的基层应平整、干净、干燥。

(2) 板状保温材料不应破碎、缺棱掉角，铺设时遇有缺棱掉角、破碎不齐的，应锯平拼接使用。

(3) 干铺板状保温材料，应紧靠基层表面，铺平、垫稳，分层铺设时，上下接缝应互相错开，接缝处应用同类材料碎屑填嵌饱满。

(4) 粘贴的板状保温材料，应铺砌平整、严实，分层铺设的接缝应错开，胶粘剂应视保温材料的材料性质选用，如热沥青胶结料、冷沥青胶结料、有机材料或水泥砂浆等。板缝间或缺角处应用碎屑加胶料拌匀填补严密。

3. 整体保温层施工

整体保温层目前有水泥膨胀珍珠岩、沥青膨胀珍珠岩及膨胀蛭石、硬泡聚氨酯等。现浇水泥膨胀珍珠岩、水泥膨胀蛭石无憎水性能，含水率很大，施工后水分很难蒸发，应做排汽屋面，而且水分排出过程很长，保温效果大大降低。而硬泡聚氨酯施工时的平整度难以保证，施工工艺较复杂，所以性能虽优，但全面推广尚有困难。

施工要点如下。

(1) 保温层的基层应平整、干净、干燥。

(2) 水泥膨胀珍珠岩、沥青膨胀珍珠岩、膨胀蛭石应采取人工搅拌，避免颗粒破碎。以水泥为胶结料时，应将水泥制成水泥浆后，边泼边拌均匀。

(3) 以热沥青作胶结料时，沥青加热温度不应高于 240℃，使用温度不宜低于 190℃，膨胀珍珠岩、膨胀蛭石的预热温度宜为 100 ～ 120℃，拌和以色泽均匀一致、无沥青团为宜。

(4) 水泥膨胀珍珠岩、沥青膨胀珍珠岩、膨胀蛭石整体保温层，应拍实抹平至设计厚度，虚铺厚度和压实厚度应根据试验确定。保温层铺设后应立即进行找平层施工。

(5) 硬泡聚氨酯保温层的基层必须干燥，如有潮气，则泡孔大而不匀，强度降低。基层表面温度过低时，可先薄薄地涂一层甲组涂料，然后进行喷涂施工，否则易发生收缩，喷涂时要连续均匀。有雾、雨雪天和五级风以上的天气，均不应进行硬泡聚氨酯现场施工。

4. 架空隔热层施工

架空隔热屋面是在平屋面上用砖墩支承钢筋混凝土薄板或黏土烧制的薄砖（称大阶砖）形成隔热层，利用架空的板（砖）形成空间通道：一方面可避免太阳直接照射屋面，使屋面表面温度大为降低，减少热量向室内传导；另一方面可利用沿海多风特点（尤其在傍晚）形成对流，将热气从板下带出，有利于屋面热量的散发，降低屋面和室内的温度，起到白天隔热、晚上散热的作用。

它要求采用平檐口，架空墩砌成条形，成为通风道，不让风产生紊流。屋面过大，宽度超过 10m 时应在屋脊处开孔架高，形成中部通气孔，称为通风屋脊。架空隔热是一种自然通风降温的措施，它适用于无空调要求而炎热多风地区的屋面。

由于架空板的粗制滥造，严重破坏城市景观，所以架空隔热屋面渐渐在减少。目前在某些地区既设置保温层，又设置架空隔热层，有些经济条件较差地区尚只采用架空隔热屋面。

施工要点如下。

(1) 架空隔热屋面应在通风较好的平屋面建筑上采用，夏季风量小的地区和通风差的建筑上适用效果不好，尤其在高女儿墙情况下不宜采用，应采取其他隔热措施。寒冷地区也不宜采用，因为到冬天寒冷时也会降低屋面温度，反而使室内降温。

(2) 架空的高度一般在 100 ～ 300mm，并要视屋面的宽度，坡度而定。如果屋面宽度超过 10m 时，应设通风屋脊，以加强通风强度。

(3) 架空屋面的进风口应设在当地炎热季节最大频率风向的正压区，出风口设在负压区。

(4) 铺设架空板前，应清扫屋面上的落灰、杂物，以保证隔热层气流畅通，但操作时不得损伤已完成的防水层。

(5) 架空板支座底面的柔性防水层上应采取增设卷材或柔软材料的加强措施，以免损坏已完工的防水层。

(6) 架空板的铺设应平整、稳固；缝隙宜采用水泥砂浆或水泥混合砂浆嵌填。

(7) 架空隔热板距女儿墙不小于 250mm，以利于通风，避免顶裂山墙。

8.5.6 保温层质量检验

保温层的质量要合格首先是保温材料质量要合格，应符合设计要求，尤其是含水率要符合设计要求，这是根本的，是保温层质量的主控项目。低吸水率的保温材料只要检查原材料是否合格就可以。吸水率高的保温材料，施工后，还应检查完工后防水层的含水率，目前尚无现场直接测量含水率的仪器，所以必须挖取现场施工完成的保温层烘干检测。除此之外，保温层还应检验厚度是否符合设计和规范的要求。倒置式屋面采用卵石保护层时还要检验卵石铺摊均匀程度。保温层质量检验项目见表 8-14。

表 8-14　保温层质量检验项目

检验项目		要　求	检验方法
主控项目	保温材料的堆积密度或表观密度、导热系数以及板材的强度、吸水率	必须符合设计要求	检查出厂合格证、质量检验报告和现场抽样复验报告
	保温层的含水率	必须符合设计要求	检验现场抽样报告
一般项目	保温层的铺设	(1) 松散保温材料：分层铺设，压实适当，表面平整，找坡正确 (2) 板状保温材料：紧贴（靠）基层，铺平垫稳，拼缝严密，找坡正确 (3) 整体现浇保温层：拌和均匀，分层铺设，压实适当，表面平整，找坡正确	观察检查
	保温层厚度的允许偏差	松散保温材料和整体现浇保温层分别为 +10%，-5% 板状保温材料为 ±5%，且不大于 4mm	用钢针插入和尺量检查
	当倒置式屋面保护层采用卵石铺压时	卵石应分布均匀，卵石的质（重）量应符合设计要求	观察检查和按堆积密度计算其质量

由于目前架空板粗制滥造、质量低劣，严重破坏城市景观，故对架空隔热板的质量定为强制性条文（表 8-15）。

表 8-15　架空隔热屋面检验项目

检验项目		要　求	检验方法
主控项目	架空隔热制品的质量	必须符合设计要求，严禁有断裂和露筋等缺陷	观察检查和检查构件合格证或试验报告
一般项目	架空隔热制品的铺设	应平整、稳固，缝隙勾填应密实；架空隔热制品距山墙或女儿墙不得少于 250mm，架空层中不得堵塞，架空高度及变形缝做法应符合设计要求	观察和尺量检查
	相邻两块制品的高低差	不得大于 3mm	用直尺和楔形塞尺检查

8.6　墙面保温工程

鉴于日益严重的能源紧张和建筑能耗浪费，绿色建筑、节能建筑的普遍推广，建筑节能保温技术已经日趋普及。常见的有建筑外墙外保温施工，以及聚氨酯硬泡喷涂防水保温屋面的施工等。

8.6.1　外墙外保温的常见做法

外墙保温分为外墙外保温和外墙内保温，后者因为存在热桥、占用建筑面积等问题，于 2004 年 7 月起已被限制使用。

外墙外保温做法主要有在承重墙体的外侧粘贴 (钉、挂) 膨胀型聚苯乙烯板 (EPS)、挤塑型聚苯乙烯板 (XPS)(图 8.18)、聚氨酯硬泡喷涂 (PUR) 和粉刷胶粉聚苯颗粒保温砂浆等。



图 8.18　外墙外保温 XPS 板施工

8.6.2 膨胀聚苯板薄抹灰外墙保温工程施工

1. 膨胀聚苯板薄抹灰外墙保温系统的基本构造

膨胀聚苯板（图 8.19）薄抹灰外墙外保温系统是一种以膨胀聚苯板（即 EPS 板）作为保温材料，常用胶粘剂（或胶粘剂 + 锚栓）固定在墙体或屋面上，以玻纤网格布增强薄抹灰面层和外装饰面涂层作为保护层（厚度不大于 6mm）的外墙保温系统。

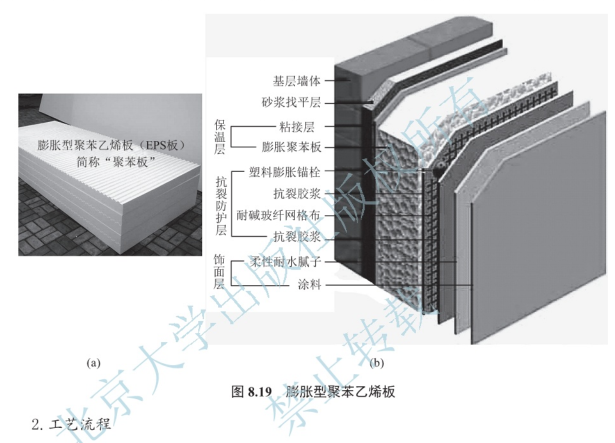


图 8.19 膨胀型聚苯乙烯板

2. 工艺流程

EPS 板保温系统的保温技术高效经济、应用较广泛。它的基本构造如图 8.19 所示。这种系统的施工工艺流程如下：基层处理→测量放线→粘贴 EPS 板→聚苯板打磨→涂抹面胶浆→铺压耐碱玻纤网格布→涂抹面胶浆→涂耐水弹性腻子→面层涂料或面砖施工。

3. 施工要点

1）墙体基面处理及测量放线

墙体基面须清理干净，检验墙面的平整度和垂直度（图 8.20），用 2m 靠尺检查，最大偏差不大于 5mm。在墙面上弹出水平控制线，在外墙阳角挂垂直基准钢线；在每个楼层适当位置挂水平线，以控制 EPS 聚苯板的垂直和平整度。

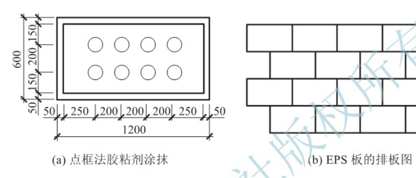
2）EPS 板的粘贴固定及排列方法

EPS 板的粘贴方法有点框法、条粘法和粘贴锚栓结合法等。

(1) 点框法。图 8.21(a) 用钢抹子沿 EPS 板的四周涂抹配好的胶粘剂，宽 50mm，板中间均匀设置 8 个直径约 100mm 的粘贴点，厚度 10mm，胶粘剂的涂抹面积不小于 40%。板应沿水平方向自下而上横向铺贴，错缝 1/2 板长 [图 8.21(b)]。粘贴法适用于外墙饰面采用涂料的外墙外保温层施工。




图 8.20　墙面平整度检查及阳角吊线



(a) 点框法胶粘剂涂抹　　(b) EPS 板的排板图

图 8.21　EPS 板的粘贴固定及排列

(2) 条粘法。其做法是，卷材与基层采用条状粘贴，每幅卷材与基层粘贴面不少于两条，每条宽度不小于 150mm。卷材与卷材搭接应满粘，叠层铺也应满粘。如图 8.22 所示为条粘聚苯板示意图。

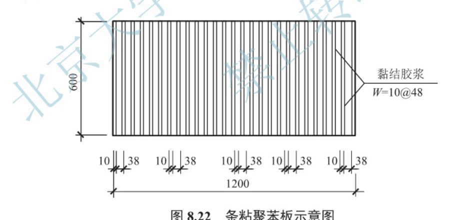
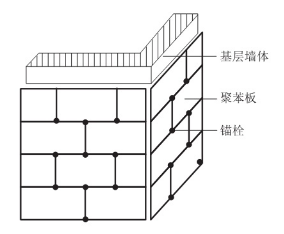


图 8.22　条粘聚苯板示意图

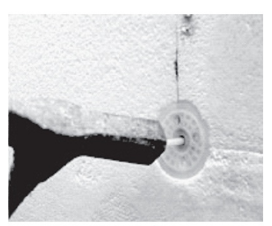
(3)EPS 板粘贴与锚栓结合法 (图 8.23)。该法是在粘贴法的基础上设置若干锚栓来固定 EPS 板。锚栓为高强尼龙或塑料，尾部设有螺丝自攻性胀塞结构。锚栓用量：10 层以下约为 6 个 /m^2，10 ～ 18 层为 8 个 /m^2，19 ～ 24 层为 10 个 /m^2，24 层以上为 12 个 /m^2。单个锚栓抗拉承载力不小于 1.5kN，适用于外墙饰面为瓷砖的外墙保温层施工，尤其是在基面附着力较差的既有建筑围护结构的节能改造之中。

3) 门窗洞口及阳角的处理

门窗洞口角部的 EPS 板应采用整块聚苯板切割出洞口，不得用碎块拼接。铺设网格布时，应在洞口四角处沿 45° 方向贴补一块标准网格布 (200mm×300mm)，以防止角部开裂，如图 8.24 所示。



(a) EPS 板锚栓的布置



(b) 锚栓的安装

图 8.23　粘贴与锚栓结合法

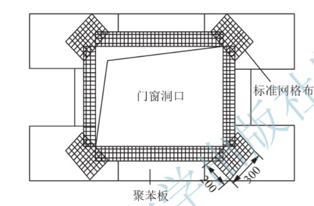




图 8.24　门窗洞口的加强处理

4) EPS 板墙面的打磨

EPS 板粘贴完毕后，为了便于下一道工序施工，墙面应进行打磨找平（图 8.25）。粘贴固定后需静置 24h，才能进行打磨，以防 EPS 板移动。打磨用专用的搓抹子将板边不平之处磨平，消除板间接缝的高低差。墙面上板缝间隙大于 1.6mm 时，应采用 EPS 板条填实后磨平。

EPS 墙面的打磨可采用砂纸施工，打磨的动作宜为圆周运动。打磨后应注意将表面清理干净，清理一般用毛刷或压缩空气施工（不得用水冲洗）。



图 8.25　EPS 板墙面的打磨

5) 网格布的铺设

通常采用二道抹面砂浆法。用钢抹子在 EPS 板表面均匀涂抹面积略大于一块网格布的砂浆，随即将网格布压入抹面砂浆中。待砂浆稍干后，用抹子涂抹第二道抹面砂浆，将网格布埋在两道抹面砂浆之间。抹面砂浆和网格布铺设完毕后，静置养护 3d，方可进行下一道工序的施工。

6）饰面层的选择

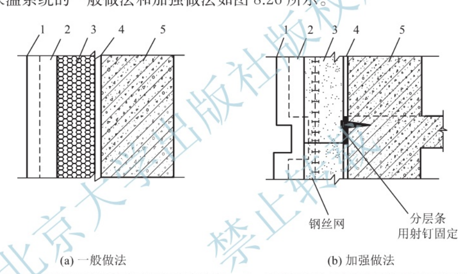
EPS 外墙保温层的饰面材料采用涂料层，属“柔—柔”搭配，外保温体系自重约 10kg/m^2，而瓷砖面层保温体系自重可达 50kg/m^2 以上。即便用锚栓或埋入法来确保瓷砖与保温层之间的附着力，但“柔性基底—刚性面层” 构造的缺陷仍然很明显，瓷砖背面的冷凝水易发生冻融破坏，温湿应力导致砖缝处面层开裂较难避免。所以 EPS 复合式外墙保温层的饰面层应优先选用高弹性涂料。

其他一些外墙保温系统的施工方法，与上述 EPS 的方法存在很多的相似之处。所以，深入掌握 EPS 外墙保温系统的施工方法，其他外墙保温系统的施工就不难学习了。

8.6.3　胶粉 EPS 颗粒保温浆料保温工程施工

1. 胶粉 EPS 颗粒保温浆料保温系统基本构造

这种保温系统的一般做法和加强做法如图 8.26 所示。



1—饰面层（高分子乳液防水弹性底涂及外墙涂料等）；2—抗裂保护层（聚合物改性水泥及耐碱玻纤布等）；3—保温层（胶粉聚苯颗粒保温浆料）；4—界面层（界面砂浆）；5—外墙（混凝土墙或砖墙、砌块墙等）

图 8.26　胶粉聚苯颗粒保温浆料外墙外保温系统示意图

2. 工艺流程

这种保温材料墙体的施工工艺流程如图 8.27 所示。

3. 施工要点

（1）施工前，应根据工程量及工期要求准备好足够的材料，确保施工的连续性。

（2）基层表面应清理干净，无油污、浮尘等，大于 10mm 的凸起物应剔除铲平。

（3）胶粉 EPS 颗粒保温浆料宜分遍抹灰，每遍间隔时间应在 24h 以上，每遍厚度不宜超过 20mm。第一遍抹灰应压实，最后一遍应找平，并用大杠搓平。

（4）保温层硬化后，应现场检验保温层厚度并现场取样检验胶粉 EPS 颗粒保温浆料干密度。

（5）现场取样胶粉 EPS 颗粒保温浆料干密度不应大于 250kg/m^3，并且不应小于

180kg/m³，现场检验保温层厚度应符合设计要求，不得有负偏差。

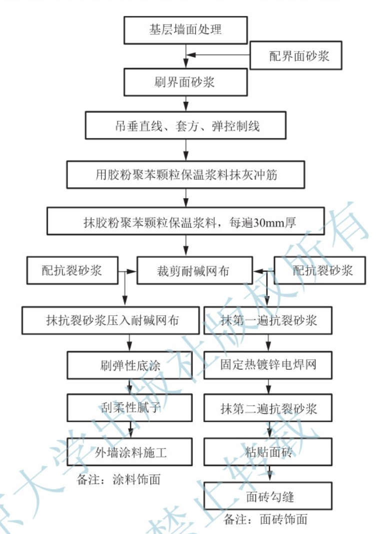


图 8.27 胶粉 EPS 颗粒保温浆料外墙外保温系统施工流程图

(6) 根据胶粉 EPS 颗粒保温浆料保温层的设计厚度，一个施工作业面应分层喷涂完成，当日的施工作业面必须于当日连续喷涂施工完毕。

(7) 胶粉聚苯颗粒保温浆料找平施工。

①抹胶粉聚苯颗粒保温浆料找平时，宜分两遍施工，每遍间隔在 24h 以上。

②抹头遍聚苯颗粒保温浆料，厚度应该以不超过 1cm 为宜，以免产生空鼓。

③第二遍操作时应达到冲筋厚度并用大杠搓平，用抹子局部修补平整；30mm 后，用抹子再赶抹墙面，用托线尺检测后达到验收标准。

④找平层固化干燥后（用手掌按不动表面为宜，一般为 3 ～ 7d）方可进行抗裂层施工。

8.6.4 硬泡聚氨酯现场喷涂外墙外保温工程施工

1. 硬泡聚氨酯现场喷涂外墙外保温系统的基本构造

这种保温系统的一般做法如图 8.28 所示。

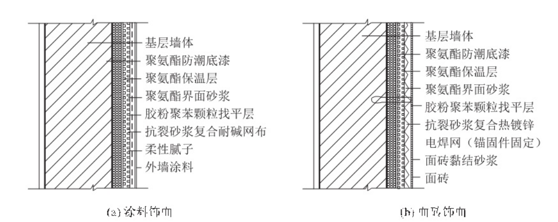


图 8.28　现场喷涂硬泡聚氨酯外墙保温系统

2. 硬泡聚氨酯的材料性能

聚氨酯硬泡体（图 8.29）是目前最理想的保温防水一体化材料之一，导热系数仅为 EPS 聚苯板的 1/2；超强的自粘性能（无须任何中间黏结材料），与屋面及外墙黏结牢固，抗风和抗负风压性能良好；均匀喷涂在外墙或屋面表面，硬质泡沫形成无缝屋盖和整体外墙保温壳体，防水抗渗性能优异。



图 8.29　聚氨酯发泡材料

聚氨酯硬泡喷涂（图 8.30）是用聚氨酯黑白两种料胶体，采用高压（大于 10MPa）无气高压喷涂机（图 8.31），混合式高速旋转及剧烈撞击在枪口上形成均匀雾状点滴喷涂在物体的表面，几秒之内产生无数微小的相连但独立的封闭泡孔结构，在整个墙面形成无缝的黏结牢固的保温防水层。

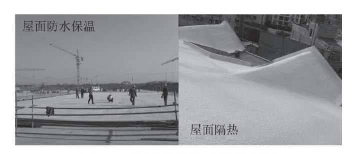


图 8.30　聚氨酯硬泡喷涂的应用



图 8.31　无气高压喷涂机

3. 工艺流程

外墙喷涂聚氨酯硬泡体施工工艺流程如图 8.32 所示。

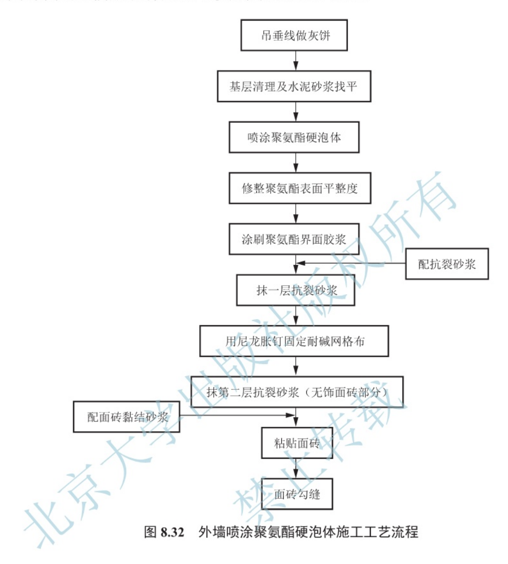


图 8.32　外墙喷涂聚氨酯硬泡体施工工艺流程

4. 施工要点

1）基层处理、弹线

对基层墙面应满涂聚氨酯防潮底漆，防潮底漆涂刷均匀，无漏刷、透底现象。阴阳角处吊垂直控制线，对于墙面宽度不小于 2m 处，需再加水平控制线。

2）聚氨酯喷涂

开启喷涂机，将硬泡聚氨酯均匀地喷涂于墙面，当厚度达到 1.0cm 厚时，按 50cm 间距、梅花状插定厚度标杆，每平方米密度控制在 4 ～ 5 枝。继续喷涂硬泡聚氨酯至标杆头被发泡料覆盖为止。施工喷涂可多遍完成，每次喷涂厚度宜控制在 1cm 之内。

3）修整保温层及喷刷界面砂浆

喷涂 20min 后清理、修整遮挡部位及超过保温层总厚度的突出部分。修整完毕且喷涂 4h 后，将聚氨酯界面砂浆喷刷于硬泡聚氨酯保温层表面。

4）抹胶粉聚苯颗粒浆料

一般用胶粉聚苯颗粒找平浆料做标准厚度冲筋，分两遍抹胶粉聚苯颗粒浆料进行找



平，每遍的间隔在 24h 以上。

5）抗裂砂浆层及饰面层施工

在找平层施工完 3 ～ 7d 后，即可进行抗裂砂浆层施工。

本 章 小 结

通过本章的学习，掌握地下工程防水混凝土的原材料、配合比和保证施工质量的措施；掌握地下工程卷材防水的两种施工方法及其特点；掌握高聚物改性沥青卷材及高分子卷材防水屋面的施工要点；熟悉涂膜防水屋面的材料和施工要点。熟悉卫生间防水工程的工艺流程和具体做法；掌握屋面保温工程及墙面保温工程的施工要点。

习　　题

一、简答题

1. 卷材防水屋面是如何构成的？防水卷材包括哪些品种？什么叫合成高分子卷材？

2. 卷材防水屋面施工一般需经过哪些步骤？如何确定卷材的铺贴方向和铺贴厚度？卷材铺贴共有哪些方法？

3. 防水涂料的类别包括哪些？每一类包含哪些品种？

4. 涂膜防水屋面施工应经过哪些步骤？如何进行防水涂料的涂布？

5. 刚性防水屋面是如何构成的？刚性防水屋面包括哪些种类？

6. 如何进行普通细石防水混凝土施工？

7. 地下工程防水包括哪些方法？

8. 地下卷材的铺贴有哪两种方法？每一种方法的施工特点是什么？

9. 简述水泥砂浆防水层抹面的施工方法。

10. 防水混凝土的适用范围是什么？

11. 卫生间防水系统的施工方法的具体流程是什么？

12. 常见的屋面保温系统有哪几种？其施工方法的具体流程是什么？

13. 常见的墙面保温系统有哪几种？其施工方法的具体流程是什么？

二、选择题

关于屋面防水工程的做法，正确的有（　　）。（2012 年二级建造师考试实务真题）

A. 平屋面采用结构找坡，坡度 2%

B. 前后两遍的防水涂膜相互垂直涂布

C. 上下两层卷材相互垂直铺贴

D. 采用先低跨后高跨、先近后远的次序铺贴连续多跨的屋面卷材

E. 采用搭接法铺贴卷材

第9章 装饰工程

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
抹灰工程	了解	抹灰分类，一般抹灰的施工顺序、要点、施工工艺和方法
涂饰工程	了解	饰面板种类，大块饰面安装方法和施工要点
吊顶工程	了解	吊顶的主要形式和施工方法
建筑幕墙工程	了解	玻璃幕墙、石材幕墙和金属幕墙的施工工艺
裱糊工程	理解	裱糊工程施工

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
室外装饰	理解	根据建筑外形和需要选用装饰材料和装饰形式
室内装饰	理解	保证室内使用条件选择装饰材料



案例导航

装饰工程具有保护主体、改善功能和美化空间三大作用。建筑装饰不仅能增加建筑物的美观和艺术形象，而且还能改善、清洁卫生环境，保护结构构件，并具有隔热和保温作用。下图所示为某地铁站的装饰工程，试分析装饰工程有哪些施工工艺和施工要点，有哪些注意事项？



本章问题讨论

1. 墙体抹灰工程中采用什么工艺防止墙体开裂？
2. 吊顶工程中添加什么材料可以更好地隔音？
3. 幕墙体装饰工程中光污染指的是什么？

9.1 抹灰工程

9.1.1 抹灰的分类

抹灰工程，按工程部位划分有外墙抹灰、内墙抹灰、顶棚抹灰、地面抹灰等；按装饰效果分为一般抹灰和装饰抹灰。抹灰工程的分类如图 9.1 所示。

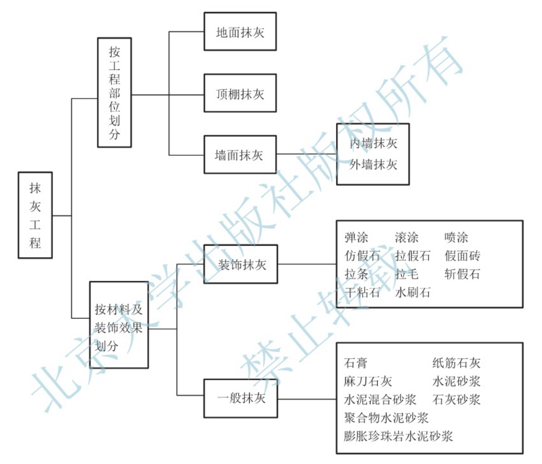


图 9.1 抹灰工程的分类

9.1.2 一般抹灰

1. 一般抹灰的分类及组成

1）一般抹灰的分类

一般抹灰按质量标准、使用要求和操作工序不同，分为普通抹灰、中级抹灰和高级抹灰。

(1) 普通抹灰。包括一层底层、一层面层，两遍成活，主要工序有分层赶平、修整和表面压光。普通抹灰一般用于简易住宅、大型设施和非居住房屋的地下室、临时建筑等。

(2) 中级抹灰。包括一层底层、一层中层、一层面层，三遍成活。要求阳角找方，

设置标筋，控制厚度与表面平整度，分层赶平、修整和压光。中级抹灰一般用于一般的居住、公共建筑及工业厂房等。

(3) 高级抹灰。包括一层底层、几遍中层、一层面层、多遍成活。要求阴阳角找方，设置标筋，分层赶平、修整和压光。高级抹灰一般用于大型公共建筑、纪念性建筑及特殊要求的高级建筑物。

2) 一般抹灰的组成

抹灰组成如图 9.2 所示。

(1) 底层。底层主要起黏结作用和初步找平作用，厚度为 10 ～ 12mm。底层所使用的材料随基层不同而不同：若为砌体基层，可采用石灰砂浆或水泥砂浆；若为混凝土基层，可采用水泥混合砂浆或水泥砂浆；若为板条、苇箔基层，可采用麻刀石灰掺水泥或麻刀石灰掺水泥砂浆；若为金属网基层，可采用麻刀石灰砂浆。当有防水、防潮要求时，应采用水泥砂浆打底，使用砂浆的稠度为 10 ～ 12cm。

1—底层；2—中层；3—面层；4—基层

图 9.2 抹灰组成

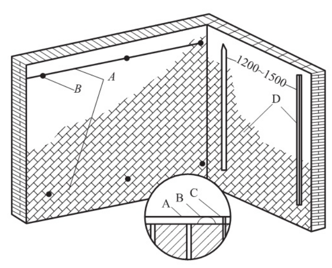
(2) 中层。中层主要起找平作用，厚度为 7 ～ 9mm，使用的砂浆种类基本上与底层相同，砂浆的稠度为 7 ～ 8mm，分层或一次抹成。

(3) 面层。面层主要起装饰效果，厚度一般为 2 ～ 5mm，要求表面光滑，无抹痕、无裂纹。

2. 一般抹灰的施工

(1) 基层处理。抹灰前应将表面凹凸不平的部位剔平或用 1:3 水泥砂浆补齐，表面太光的要凿毛，或用 1:1 水泥浆掺 108 胶薄薄地刷一层。表面的砂浆、污垢、尘土和油漆等均应清扫干净，浇水湿润基层。

(2) 找规矩。找规矩即四角规方，横线找平、立线吊直，弹出准线和墙裙、踢脚板线，并在墙面做灰饼、冲筋，以便找平。图 9.3 为灰饼与标筋示意图。



A—引线；B—灰饼；C—钉子；D—标筋

图 9.3 做灰饼与标筋示意图

(3) 做护角。在室内的门窗洞口及墙面、柱子的阳角处应做护角，可使阳角线条清晰、挺直，防止碰坏。护角一般可用 1:2 水泥砂浆抹制，护角高度不应低于 2m，每侧宽度不小于 50mm。

(4) 抹底层灰。待标筋有了一定强度后，洒水湿润墙面，然后在两筋之间用力抹上底灰，底灰高度略低于标筋，约为标筋厚度的 2/3，由上往下抹，用木抹子压实搓毛。

(5) 抹中层灰。待底层灰干至 6 ～ 7 成后，即可抹中层灰，厚度以垫平标筋为准，并使其稍高于标筋。抹上砂浆后，再用木杠按标筋由下往上刮平，用木抹子搓平。局部低凹处，用砂浆填补搓平。中层抹灰后应检查表面平整度和垂直度，检查阴阳角是否方正和垂直，若发现质量缺陷应立即处理。

(6) 抹窗台线、踢脚板（或墙裙）。窗台线应用 1:3 水泥砂浆抹底层，稍干燥后表面划毛，隔 1d 后，刷素水泥浆一道，再用 1:2.5 水泥砂浆抹面层。面层要原浆压光，上口做成小圆角，下口要求平直，不得有毛刺，浇水养护 4d。

抹踢脚板（或墙裙）时，先按设计要求弹出上口水平线，用 1:3 水泥砂浆或水泥混合砂浆打底。隔 1d 后，用 1:2 水泥砂浆抹面层，稍干收水后用铁抹子将表面压光。踢脚板（或墙裙）应比墙面的抹灰层高出 3 ～ 5mm，根据高度尺寸弹出上线，把八字靠尺靠在线上，用铁抹子将上口切齐，修边清理。

(7) 抹面层灰。待中层有 6 ～ 7 成干时，即可抹面层灰，俗称罩面。操作应从阴角开始，最好两人同时操作，一人在前面上灰，另一人紧跟在后找平整，并用铁抹子压实、赶光。阴阳角处用阴阳角抹子捋光，并用毛刷蘸水将门窗圆角等处清理干净。

(8) 清理。抹灰工作完毕后，应将粘在门窗框、墙面的灰浆及落地灰及时清除，打扫干净。

抹灰的常见做法见表 9-1。

表 9-1　抹灰的常见做法

名称	适用范围	分层做法	厚度/mm	说　明
水泥混合砂浆	砖墙基面	(1)1:0.3:3 水泥混合砂浆打底 (2)1:0.3:2.5 水泥混合砂浆罩面压光	13 5	抹灰表面刷无光油漆，油漆的颜色按设计要求选配
	混凝土墙面	(1) 刷一道素水泥浆（内掺水重 3% ～ 5% 的 108 胶） (2)1:0.3:3 水泥混合砂浆打底 (3)1:0.3:2.5 水泥混合砂浆罩面压光	13 5	抹灰表面刷乳胶漆，油漆颜色应按设计要求选配
	加气混凝土墙面	(1) 刷（喷）一道 108 胶水溶液（配合比为 108 胶：水 =1:4) (2)2:1:8 水泥混合砂浆打底 (3)1:1:6 水泥混合砂浆中层 (4)1:0.3:2.5 水泥混合砂浆罩面压光	5 6 5	抹灰表面刷乳胶漆
水泥砂浆	砖墙面	(1)1:3 水泥砂浆打底 (2)1:2.5 水泥砂浆罩面压光	13 5 ～ 9	底子分两遍成活，头遍要压紧，表面要扫毛；待 5 ～ 6 成干时抹第二遍

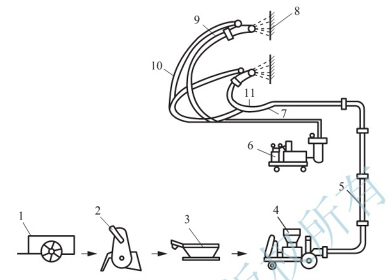
（续）

名称	适用范围	分层做法	厚度/mm	说　明
水泥砂浆	混凝土墙面	(1) 刷素水泥浆一道（内掺水重 3% ～ 5% 的 108 胶） (2)1:3 水泥砂浆打底扫毛或划出纹道 (3)1:2.5 水泥砂浆罩面压实赶光	 13 5	
	加气混凝土墙面	(1) 刷（喷）一道 108 胶水溶液（配合比 108 胶：水 =1:4) (2)2:1:8 水泥混合砂浆打底 (3)1:1:6 水泥混合砂浆 (4)1:2 .5 水泥砂浆罩面赶光	 5 6 5	
纸筋石灰或麻刀石灰	砖墙基面	(1)1:3 石灰砂浆打底 (2)1:3 石灰砂浆找平 (3) 纸筋石灰或麻刀石灰罩面	9 7 2	普通抹灰可喷（刷）大白浆
		(1)1:3 石灰砂浆打底 (2)1:3 石灰砂浆找平 (3) 纸筋石灰或麻刀石灰罩面	13 8 2	高级抹灰可喷（刷）可赛银浆
	混凝土墙面	(1) 刷素水泥浆一道（内掺水重 3% ～ 5% 的 108 胶） (2)1:3:9 水泥混合砂浆打底 (3)1:3:9 水泥混合砂浆找平 (4) 纸筋石灰或麻刀石灰罩面	 7 7 2	普通抹灰可喷（刷）大白浆
		(1) 刷素水泥浆一道（内掺水重 3% ～ 5% 的 108 胶） (2)1:3:9 水泥混合砂浆打底 (3)1:3 石灰砂浆找平 (4) 纸筋石灰或麻刀石灰罩面	 12 8 2	高级抹灰喷（刷）可赛银浆
	混凝土板顶棚	(1) 刷一道素水泥浆（内掺水重 3% ～ 5% 的 108 胶） (2)1:3:9 水泥混合砂浆打底 (3) 用纸筋石灰或麻刀石灰罩面	 7	抹灰表面可喷大白浆
石膏灰抹灰	高级装饰墙面	(1)1:(2 ～ 3) 麻刀石灰抹底层、中层 (2)1:6:4（石膏粉：水：石灰膏）罩面分两遍成活，在一遍未收水时即进行第二遍抹灰，随即用铁抹子修补压光两遍，最后用铁抹子溜光至表面密实光滑为止	底层 6 中层 7 面层 2 ～ 3	罩面石膏灰不得涂抹在水泥砂浆层上

3. 机械喷涂抹灰

机械喷涂抹灰是把配制好的砂浆，经振动筛后倾入灰浆输送泵，利用泵压通过管道，连续均匀地喷涂于墙面或顶棚上，再经过找平搓实，完成底子灰抹灰。机械喷涂抹灰具有

砂浆与基层黏结牢固、生产效率高、劳动强度低等特点，是抹灰施工的发展方向，适用于大面积内外墙壁及顶棚石灰砂浆、混合砂浆、水泥砂浆抹灰。机械喷涂抹灰如图 9.4 所示。



1—手推车；2—砂浆搅拌机；3—振动筛；4—灰浆输送泵；5—输浆钢管；6—空气压缩机；7—输浆胶管；8—基层；9—喷枪头；10—输送压缩空气胶管；11—分叉管

图 9.4　机械喷涂抹灰示意图

喷涂抹灰所用砂浆稠度为 90 ～ 110 mm，喷涂必须分层连续进行，喷涂前应先进行运转、疏通和清洗管路，然后压入石灰膏润滑管道，避免堵塞。喷涂时喷枪口与墙面距离一般控制在 10 ～ 30cm 范围，对于吸水性较强或干燥的墙面或灰层厚的墙面，喷枪嘴距墙面保持在 10 ～ 25cm，并与墙成 90° 角；对于较潮湿或吸水性弱的墙或者灰层较薄的墙，喷枪嘴距墙远一些，一般为 15 ～ 30cm，并与墙成 65° 角。喷灰路线，可按由下往上和由上往下的 S 形巡回进行。每次喷涂完毕，也应将石灰膏通入管道，把残留的砂浆带出，再压送清水冲洗，最后送入气压为 0.4MPa 的压缩空气吹刷数分钟，以防砂浆在管路中结块，影响下次使用。

目前机械喷涂抹灰主要适用于底层和中层，而喷涂后的找平、搓毛、罩面等工序一般需用手工操作。但近年来的挤压泵等新型机械已开始用于喷涂罩面灰，为实现抹灰工程的全面机械化创造了条件。

9.1.3　装饰抹灰

装饰抹灰包括水刷石、水磨石、斩假石、干粘石、假面砖等多种施工工艺。这些工艺施工过程中均分层操作，底层和中层的做法与一般抹灰基本相同，只是面层材料和做法有所不同。装饰抹灰，除了具有与一般抹灰相同的功能以外，还能呈现天然石粒的质感和色泽，丰富墙体的颜色与质感，而且线条美观，具有较强的装饰效果。

1. 水刷石

水刷石一般用于外墙装饰。面层材料的水泥可采用彩色水泥、白水泥或普通水泥。颜料应选用耐碱、耐光、分散性好的矿物颜料。水刷石的骨料可选用中、小八厘石粒，

玻璃碴、粒砂。骨料颗粒应坚硬、均匀、洁净、色泽一致。

施工程序是：水泥砂浆中层验收→弹线、贴分格条→抹面层石子浆→刷洗面层→起分格条及浇水养护。

水刷石的分隔是为了避免施工接槎的一种措施，同时便于面层分块分段地进行操作。首先按照设计要求及施工分段的位置，在抹灰中层表面弹分格线，然后把浸透水的木分格条用水泥素浆粘贴在所弹分格线的位置上，两侧抹成八字形。分格条镶嵌应牢固、横平竖直，接缝严密。待中层砂浆初凝后，将中层抹灰层润湿，随即刮一层素水泥浆（内掺水重5%的108胶），厚度在1mm左右。紧接着抹1:0.5:3（水泥：白灰：小八厘石粒）石渣浆，从下往上分两次抹平，并及时用直尺检查其是否平整，随后压平、压实，抹石渣面层应高于分格条1mm。待水泥石渣浆稍收水后，用抹子拍平揉压，将其内水泥浆挤出，达到灰层密实。然后用刷子蘸水刷去表面浮浆，拍平压光一遍，再刷再压，反复进行3～4次。待面层开始初凝，指按无痕，用刷子刷石渣不掉时，一人用刷子蘸水刷去表面水泥浆，一人紧跟其后用喷雾器由上往下顺序喷水刷洗，喷头一般距墙面10～20cm为宜。将表面的水泥浆冲洗干净，露出石渣后，随即起出分格条，并用素浆将缝勾好。最后用水壶浇清水将墙面清洗干净，使其颜色一致。水刷石表面应石粒清晰、分布均匀、紧密平整、色泽一致，应无掉粒和接槎痕迹。喷刷面层露出石子后，就要起出分格条，起出分格条后用小线抹抹平，然后根据设计要求用素水泥浆做凹缝及上色。水刷石抹完后第二天起经常洒水养护，养护时间不少于7d。

2. 水磨石

水磨石面层是用天然石渣、水泥、颜料加水拌和，摊铺抹面，经磨光、打蜡而成的润滑细腻、花纹美观的饰面层。水磨石面层饰面美观大方，平整光滑，整体性好，坚固耐久，易于清洁。但施工时湿作业工序多，工期长且装饰效果不如预制水磨石。现浇水磨石适用于有防尘、保洁要求的工业与公共建筑的地面。

工艺流程：基层清理，湿润→抹找平层、养护→弹线、嵌分格条→抹面层石渣浆→养护、试磨→磨光→擦草酸→上蜡。

底层和中层抹灰完成后，即可在其表面按设计要求弹线，贴嵌玻璃、铜或铝分格条，分格条两侧可用砂浆固定。砂浆凝固后（一般最少需要2d），先在中层灰面上抹一层水灰比为0.4的素水泥浆作为黏结层，再按设计要求的颜色和花纹，将不同颜色的水泥石子浆（1:2.5水泥2号或3号石子浆）填入分格网中，厚度与嵌条齐平，并摊平压实，随即用滚碾横竖碾压，并在低洼处用水泥石子浆找平，压至出浆为止，2h后再用铁抹子将压出的浆抹平。待其半凝固（1～2d后）时，开始试磨，以不掉石渣为准，经检查确认后方可正式开磨。开磨时首先用粒度60～80号粗的砂轮机磨第一遍，磨时使机头在地面上走横八字形，边磨边加水、加砂，随即用水冲洗检查，应达到石渣磨平无花纹道子、分格条全部露出、石子均匀光滑、发亮为止。每次磨光后，应用同色水泥浆填补砂眼，间隔3～5d再按同样方法磨第二遍和第三遍。最后进行草酸擦洗和打蜡。

3. 斩假石（剁斧石）

斩假石是一种在硬化后的水泥石子浆面层上用剁斧等专用工具剁琢所形成的有规律

剁纹饰面层，成品的色泽和纹理与细琢面花岗石或白云石相似。

施工工艺：抹底层及中层砂浆→弹线、贴分格条→抹面层水泥石粒浆→斩剁面层。

先按照一般抹灰方法进行底层和中层抹灰，在已硬化的水泥砂浆中层上洒水湿润，弹线并贴好分格条，在底灰上薄薄刮一道素水泥浆，随即抹面层。面层用水泥∶石渣=1∶(1.25 ～ 1.5) 的水泥石渣浆，厚度一般为 10mm 左右，与分格条齐平，先用铁抹子将水泥石渣浆抹平，再用木抹子打磨拍实，要求表面无缺陷，阴阳角方正，表面平整。抹完用软毛刷将表面水泥浆刷掉，露出的石渣应均匀一致。面层抹完 24h 后应浇水养护，防止暴晒。

在正常温度下，面层养护 2 ～ 3d 后即可试剁，试剁时以石粒不脱掉，较易剁出斧迹为准。采用的斩剁工具有剁斧、多刃斧、花锤、扁凿、齿凿、尖锥等。斩剁的顺序一般为先上后下，由左至右，先剁转角和四周边缘，后剁大面。转角和四周剁水平纹，中间剁垂直纹，剁纹深度一般以将石渣剁掉 1/3 为宜。斩假石表面剁纹应均匀顺直、深浅一致，应无漏剁处。为了美观，一般在分格缝、阴阳角四周留出 15 ～ 20mm 边框线不剁。剁完后，墙面应用清水冲刷干净，起出分格条，用钢丝刷刷净分格缝处，按设计要求可在缝内做凹缝并上色。

4. 干粘石

干粘石是在水泥砂浆面上直接喷或撒粘石渣形成的饰面层，主要适用于建筑外部装饰。

施工工艺：水泥砂浆中层质量验收→弹线、粘分格条→抹黏结层砂浆→撒石粒压平→起分格条、修整。

(1) 手工干粘石施工。施工时，先在已经硬化的水泥砂浆层上浇水湿润，并刷水泥浆一道，水灰比为 0.4 ～ 0.5，再抹一层 5mm 的 1∶(2 ～ 2.5) 的水泥砂浆层，随即紧跟抹一层 2mm 厚黏结层，黏结层砂浆的配合比为水泥∶石灰膏∶砂∶胶粘剂 =1∶1∶1∶2∶0.15，同时将配有不同颜色或同色的小八厘石子或彩色豆石及绿豆砂均匀甩粘到黏结层上，并拍平压实，但不能拍出灰浆，石子嵌入深度不小于石子粒径的 1/2，待有一定强度后洒水养护。甩石子时，应先上后下，先甩四周易干燥部分，后甩中间，使干粘石表面色泽一致、不露浆、不漏粘，石粒应黏结牢固、分布均匀，阳角处应无明显黑边。

(2) 机喷干粘石。机喷干粘石是用喷枪将石渣在空气压力作用下均匀有力地喷射在黏结层上。喷枪要对准墙面，距离为 300 ～ 400 mm，压力以 0.6 ～ 0.8MPa 为宜，随喷随用铁抹子轻压，使表面平整，同时回收散落下来的石渣。

9.2 饰面板（砖）工程

饰面板（砖）工程是将天然石饰面板、人造石饰面板、金属饰面板和饰面砖等安装或镶贴到墙面、柱面和地面上等，形成装饰面层的施工过程。饰面板包括石材（花岗岩、大理石、青石板和人造石材等）、瓷板（抛光板、磨边板）、金属饰面板、木材饰面板。陶瓷面砖主要包括釉面瓷砖、外墙面砖、陶瓷锦砖、陶瓷壁画、劈裂砖等；玻璃面砖主

要包括玻璃锦砖、彩色玻璃面砖、釉面玻璃等。

9.2.1 饰面板工程

1. 材料

1）天然大理石

大理石属中硬石材，其质地均匀，色彩多变，纹理美观，是良好的饰面材料。但大理石表面硬度较低，不耐磨，抗侵蚀性能较差，主要用于建筑物的室内地面、墙面、柱面等部位的干燥环境中，一般不宜用于室外。大理石饰面板一般为抛光镜面板，有定型和不定型规格，其品种常以其磨抛光后的花纹、颜色特征及产地命名。用于装饰的大理石饰面板材应光洁度高，石质细密，色泽美观，棱角整齐，表面不得有隐伤、风化、腐蚀等缺陷。

2）天然花岗石板材

天然花岗石板属于硬石材，其质地坚硬密实，具有良好的抗风化性、耐磨性、耐酸碱性，耐用年限为 75 ～ 200 年，广泛用于室内外墙面、柱面、地面等部位。花岗石饰面板应表面平整、边缘整齐，棱角不得损坏，无隐伤、风化等缺陷。

3）人造石饰面板

人造行饰面板材有聚酯型人造大理石饰面板、水磨石饰面板和水刷石饰面板等。人造石饰面板是用天然大理石、花岗石等碎石、石屑、石粉作为填充材料，用不饱和聚酯树脂为黏结剂（或用水泥为黏结剂），经搅拌成型、研磨、抛光等工序制成。人造石饰面板应表面平整、边缘整齐，棱角不得损坏，表面不得有隐伤等缺陷。

2. 饰面板安装

根据饰面板的规格一般可采用两种施工方法：①当板块边长大于 40cm，或者安装高度超过 1m 时，应采用锚固灌浆或干挂法等安装方法；②当饰面板边长小于 40cm，安装高度不超过 1m 时，通常采用与釉面砖相同的粘贴方法安装。下面介绍大块饰面板的安装。

大块饰面板的安装方法有湿作业法和干挂法。

1）湿作业法

湿作业法有传统湿作业和改进湿作业法（楔固法），传统湿作业安装法工序多，操作较为复杂，饰面易反碱，且采用钢筋网连接，增加工程造价，目前采用较少，现在广泛采用改进湿作业法（楔固法）。

改进湿作业法施工程序：选材→弹基准线→预拼选板编号→板材钻孔→基体钻孔→饰面板就位→ U 形钉固定→加楔校正→分层灌浆→嵌缝、清洁板面→抛光打蜡。

(1) 选材。先按图挑出品种、规格、颜色一致的块料，校正尺寸及四角套方。

(2) 弹线、预排。安装饰面板之前，用线锤从上至下在墙面上找出垂直线。在地面上弹好板块的外围尺寸线，以作为第一层饰面板的基准线，然后弹好水平线和垂直线。将选好的板材铺在地上进行预排，力求颜色基本一致，花纹近似协调，然后将板材进行编号。

(3) 板块钻孔。用电钻在距板两端 1/4 处居板厚中心钻孔，孔径 6mm，深 35 ～ 40mm。板宽小于 500mm 时打直孔两个，板宽大于 500mm 时打直孔三个，板宽大于 800mm 时

打直孔四个。然后将板旋转 90°，在板两边分别各打直孔一个，孔位距板下端 100mm，孔径 6mm，深 35 ～ 40mm，直孔都需剔出 7mm 深小槽，以便安卧 U 形钉。

(4) 基体钻斜孔。用冲击钻在基体上钻出与板材平面成 45° 的斜孔，孔径 6mm，孔深 40 ～ 50mm。

(5) 板材安装与固定。用 U 形钉将板块与基体固定，校正板块平整度、垂直度符合要求后，楔紧板块，随后进行分层灌浆。

图 9.5 为改进湿作业法饰面板就位固定示意图。

2) 干挂法

干挂法是利用高强螺栓和耐腐蚀、强度高的柔性连接件，将饰面石板挂于建筑物结构的外表面，石材与结构之间留有 40 ～ 50mm 的空隙。此法可免除灌浆湿作业，减轻建筑物自重，不受粘贴砂浆析碱的影响，提高装饰质量。

施工程序：清理结构表面、弹线→石料打孔→结构钻孔并插固定螺栓→镶不锈钢固定件→用胶粘剂灌下层墙板上孔→插入连接钢针→用胶粘剂灌上层墙板的下孔→临时固定上层墙板→钻孔插入膨胀螺栓→镶不锈钢固定件→镶顶层墙板→嵌板缝密封胶。

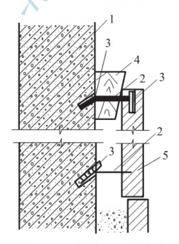
(1) 板材钻孔、粘贴增强层。根据设计尺寸在石板上下侧边钻孔，孔径 6mm，孔深 20mm。在石板背面涂刷合成树脂胶粘剂，粘贴玻璃纤维网格布作增强层。

(2) 石板就位、临时固定。在墙面上吊垂线及拉水平线，以控制饰面的垂直、平整。支底层石板托架，将底层石板就位并作临时固定。

(3) 基体钻孔、安装饰面板。用冲击电钻在基体结构上钻孔，打入胀铆螺栓，同时镶装 L 形不锈钢连接件。用胶粘剂（可采用环氧树脂）灌入石板的孔眼，插入销钉，校正并临时固定板块。如此逐层操作，直至镶装顶层板材。

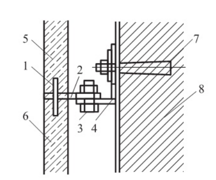
(4) 进行嵌缝，清理饰面，擦蜡出光或涂刷石材罩面涂料。

图 9.6 为干挂法饰面板固定示意图。



1—基体；2—U 形钉；3—硬木小楔；
4—大头木楔；5—饰面板

图 9.5　改进湿作业法饰面板就位固定示意图



1—不锈钢销钉；2—舌板；3—连接螺栓；4—托板；
5—上饰面板；6—下饰面板；
7—膨胀螺栓；8—混凝土基体

图 9.6　干挂法饰面板固定示意图

9.2.2 饰面砖工程

1. 概述

饰面砖主要包括室内釉面砖、外墙面砖、陶瓷锦砖和玻璃锦砖等。

1）室内釉面砖

釉面砖是采用瓷土或优质陶土烧制而成的表面为釉质的薄片状精陶制品，有单色釉面砖、装饰釉面砖、图案釉面砖等多个品种。釉面砖表面光滑，易于清洗，色泽多样，美观耐用。由于釉面砖为多孔精陶，易吸湿产生膨胀引起釉面开裂和剥落，因此一般只用于室内。其质量要求为吸水率小于 21.0%，表面光洁，色泽一致，边缘整齐，无脱釉、缺釉、凸凹扭曲、暗痕、裂纹等缺陷。

2）外墙面砖

外墙面砖是以陶土为主要原料，经煅烧而成。按外墙面砖的外观及使用功能，主要分为无釉砖、彩釉砖、金属釉砖及仿石砖等几种。质地坚实，吸水率较小，美观，耐水抗冻，经久耐用。其质量要求为表面光洁，质地坚固，尺寸、色泽一致，不得有暗痕和裂纹。

3）陶瓷锦砖

陶瓷锦砖（又称马赛克）是以优质瓷土烧制成片状小瓷砖再拼成各种图案反贴在底纸板上的饰面材料。其质地坚实，色泽多样，耐酸、耐碱、耐磨、不渗水，抗压等性能强，是传统的墙面装饰材料，广泛用于洁净车间、门厅、走廊、餐厅、盥洗室、浴室、工作间等处的内墙面装饰、地面和外墙饰面。其质量要求为质地坚硬，边棱整齐，尺寸正确，脱纸时间不得大于 40mm。

4）玻璃锦砖

玻璃锦砖是用玻璃烧制而成的小块贴于纸板而成的材料，有乳白、珠光、蓝、紫、黄等多种花色。其特点是质地坚硬，性能稳定，表面光滑，耐大气腐蚀，耐热、耐冻、不龟裂，容易粘贴牢固。其质量要求为质地坚硬，边棱整齐，尺寸正确。

2. 镶贴外墙面砖

外墙饰面砖的镶贴工艺：选砖→基层处理→设置标筋→抹底子灰→弹线分格排砖→浸砖→镶贴面砖→做滴水线和勾缝等。

(1) 选砖。按砖的大小和颜色进行选砖。选出的砖应颜色均匀，无脱釉现象，平整方正，无缺棱掉角。

(2) 弹线分格。基层处理、设置标筋、抹底子灰后弹线分格。基层处理、设置标筋、抹底子灰同一般抹灰。待底灰达 6 ～ 7 成干时，即可按图样要求分段分格弹线，确定面层贴标准点，以控制面层的出墙尺寸及垂直度、平整度。弹线时，纵向和横向每隔 3 ～ 5 块的距离弹水平线和垂直线，以控制线条的水平度和垂直度。设计复杂时，也可从上到下画出皮数杆和接缝，在墙上每隔 1.5 ～ 2.0m 的距离做出标记，以控制表面平整和灰缝的厚度。

(3) 排砖。根据墙面尺寸进行横竖排砖，以保证面砖缝隙均匀。排砖时在同一墙面上不得有一行以上的非整砖，非整砖应排在次要部位，如窗间墙或阴角处。一般要求横

缝与碹脸或与窗台取平，且砖缝均匀，窗台阳角一般要用整砖。当横向不是整块的面砖时，要用合金钢钻和砂轮切割整齐。外墙贴面砖的几种排法如图 9.7 所示。

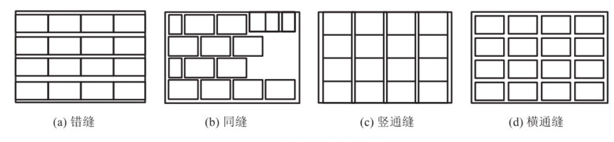


图 9.7 外墙面砖排砖示意图

(4) 浸砖。釉面砖和外墙面砖镶贴前，首先应将面砖清扫干净，在清水中浸泡 2 ～ 3h，表面晾干和擦净后备用。若采用黏结剂镶贴，是否浸砖，应由黏结剂的性能决定。

(5) 镶贴面砖。镶贴面砖可用水泥砂浆、水泥混合砂浆、聚合物水泥砂浆或专用的胶粘剂等。使用水泥砂浆配合比宜为水泥：砂 =(1:2) ～ (1:1.5)；使用水泥混合砂浆配合比宜为水泥：石灰膏：砂 =1:0.3:3。粘贴时，首先在砖背面满刮一层砂浆，厚度为 5 ～ 6mm，砖的四角刮成斜面，粘贴后，用灰铲把轻轻敲击，使砂浆饱满，并使之附线，再用钢片开刀调整竖缝，随时用靠尺找平找方。面砖之间的水平缝宽度用厘米条控制，厘米条贴在已镶贴好的面砖上口，为保证其平整，可临时加垫小木楔。夏季镶贴室外饰面板（砖）应防止暴晒；冬期施工，砂浆使用温度不低于 5℃，砂浆硬化前，应采取防冻措施。

(6) 做滴水线。镶贴室外凸出的檐口、腰线、窗台、雨篷和女儿墙压顶等外墙面砖时，应按设计要求做出流水坡度，下面再做流水线或滴水槽，以免向内渗水。

(7) 勾缝。勾缝前应检查面砖的质量，逐块敲试，若发现空鼓和黏结不牢，必须重贴。勾缝时可采用 1:1 水泥砂浆进行勾缝，先勾横缝，后勾竖缝，严禁使用水泥砂浆进行刮抹填缝，否则勾缝不严，容易产生渗水现象。当勾缝材料硬化后，表面清洗干净。

3. 室内贴面砖

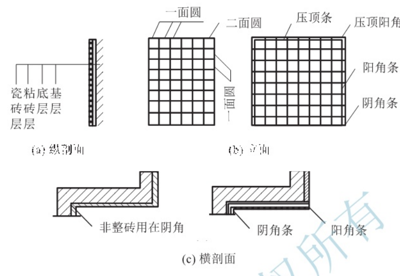
室内贴面砖的施工顺序：选砖→基层处理→抹底子灰→排砖和弹线→贴灰饼→浸砖→垫平尺板→贴瓷砖和釉面砖→擦缝和清洁面层等。

其中选砖、基层处理、设置标筋、抹底子灰、浸砖与外墙面砖相同。

(1) 排砖和弹线。待基层达 6 ～ 7 成干时，根据面砖规格和实际情况进行排砖、弹线。排砖时从上到下统一安排，当接缝宽度无要求时，按 1 ～ 1.5mm 安排，计算纵横两个方向的皮数，画出皮数杆，定出水平标准。或在底子灰上弹竖向和横向控制线，一般竖向间距为 1m 左右，横向一般根据面砖尺寸按每 5 ～ 10 块弹一水平控制线，有墙裙的要弹在墙裙上口。一般排砖从阳角开始，把非整砖行排在阴角部位或次要部位。对墙的上、下方向，上端排成整砖行，下边一行被地面压住。阴阳角等处应使用配件砖。常见室内面砖的排法如图 9.8 所示。

(2) 贴灰饼。用废面砖粘贴在底层砂浆上作为灰饼，黏结灰饼的砂浆可采用 1:0.1:3 的水泥混合砂浆，灰饼的间距一般为 1.0 ～ 1.6m，上、下灰饼用靠尺找好垂直，横向几个灰饼拉线或用靠尺板找平，在灰饼面砖的楞角处拉立线，再于立线上拴活动的水平线，

来控制水平面的平整。



(c) 横剖面

图 9.8 常见室内面砖排砖示意图

(3) 垫底尺。按照计算好的下一皮砖的下口标高，垫放好平尺板作为第一皮砖下口的标准。垫平尺板要注意地漏标高和位置。平尺板的上皮一般要比地面低 1cm 左右，以便地面压住墙面砖。垫平尺板时一定要垫平垫稳，垫点的间距一般控制在 40cm 以内。

(4) 镶贴面砖。铺贴时应先贴面砖，后贴阴阳角等费工费时的地方。黏结砂浆可用 1:0.1:2.5 水泥石灰膏砂浆、1:2 水泥砂浆中掺入水泥量为 2% ～ 3% 的 108 胶。铺贴时将浸泡过的面砖背面抹一层砂浆（注意：边角满浆，亏灰时，要取下重粘），然后紧靠垫平尺的上皮将面砖贴在墙上，并用小铲的木把轻轻敲击，使灰浆饱满，上口要以水平线为标准。贴好一层后，用靠尺板横向靠水平，竖向靠垂直，不符合要求者，应取下面砖重新铺贴。铺贴时应先在门口、阳角以及长墙每隔 2m 左右均先竖向贴一排砖，作为墙面垂直、平整和砖层的标准，然后以此作为标准向两侧挂线，由下往上铺贴。

(5) 擦缝和清洁面层。墙面釉面砖用白色水泥浆擦缝，用布将缝内的素浆擦匀，砖面擦净。

9.3 涂饰工程

建筑涂料是指涂敷于建筑构件的表面，并能与建筑构件表面材料很好地黏结，形成完整保护膜的材料。建筑涂饰具有保护建筑物、装饰与改善结构性能的作用，是一种很有发展前途的装饰方法。

9.3.1 建筑涂料

1. 建筑涂料分类

建筑涂料分类见表 9-2。

表 9-2　建筑涂料分类

序号	分类方法	涂 料 种 类
1	按涂料的化学成分分	(1) 有机涂料：如硅溶胶－苯丙外墙涂料 (2) 无机涂料：如硅酸钾水玻璃外墙涂料 (3) 有机无机复合涂料：如硅溶胶－苯丙外墙涂料
2	按涂料状态分	(1) 溶剂型涂料：以高分子合成树脂为主要成膜物质，以溶剂为稀释剂，是一种挥发性涂料。如氧化橡胶外墙涂料 (2) 水溶性涂料：以水溶性合成树脂为主要成膜物质，以水为稀释剂。如聚乙烯醇水玻璃内墙涂料 (3) 乳液型涂料：乳液型外墙涂料是以高分子合成树脂乳液为主要成膜物质的涂料。如苯丙乳胶液 (4) 粉末涂料：如粉末内墙涂料
3	按涂料的装饰质感分	(1) 薄质涂料 (2) 厚质涂料 (3) 复层涂料
4	按建筑物涂刷部位分	(1) 外墙涂料 (2) 内墙涂料 (3) 地面涂料 (4) 顶棚涂料 (5) 屋面涂料
5	按涂料的特殊功能分	(1) 防火涂料 (2) 防水涂料 (3) 防结露涂料 (4) 防虫涂料 (5) 防霉涂料

2. 建筑涂料的选择

建筑涂料选用首先要考虑装饰效果，同时还要考虑涂料本身的性能、建筑物部位和基层类型、装饰周期等因素，以满足使用功能的要求，且黏结牢固。

(1) 按建筑物的不同部位选用，内墙面优先选用苯乙烯涂料、聚乙烯醇系涂料；外墙面应优先选择氯化胶涂料、丙烯酸涂料、聚氨酯涂料、苯丙涂料、丙烯酸涂料等；屋面优先选用环氧树脂涂料；地面优先选用氯－偏涂料和聚合物水泥系涂料等。

(2) 按基层的材质选用，若基层为混凝土和水泥基面，应选择耐碱性和遮盖性较好的涂料，如乙－丙乳胶漆、白色平光乳胶漆等；若基层为石灰和石膏墙面，可采用聚乙烯醇系涂料等；若基层为木质材料，应采用非碱性涂料，否则容易对木基产生破坏，如乙－丙内墙乳胶漆、苯丙乳胶内墙涂料等。

(3) 按装饰周期选用，内墙若间隔 5 年装修，可选用油性漆、过氯乙烯涂料、聚乙酸乙烯涂料、苯丙涂料和丙烯酸酯涂料等；若间隔 10 年装修，可选用氯化橡胶涂料、丙烯酸涂料、聚氨酯类涂料等。外墙若间隔 5 年装修，可选用过氯乙烯涂料、苯乙烯涂料和聚乙烯醇缩丁醛涂料；若间隔 10 年装修，可选用氯化橡胶涂料、丙烯酸酯涂料、聚氨酯类涂料等。地面若间隔 1 ～ 2 年装修，可选用油性漆、过氯乙烯涂料和苯乙烯涂料；

若间隔 10 年装修，可选用聚氨酯系涂料和环氧树脂涂料等。

9.3.2 涂饰工程施工

1. 基层处理

(1) 混凝土基层。基层表面应平整，应彻底清除基层表面的油污、灰尘、溅沫和砂浆流痕等污染物。基层表面有凹凸不平处，应用凿子剔平或用水泥聚合物腻子进行修补处理。混凝土表面应干燥，一般要求含水率为 8% ～ 10%；在混凝土或抹灰基层涂刷溶剂型涂料时，含水率不得大于 8%；涂刷乳液型涂料时，含水率不得大于 10%。混凝土的碱度 pH 应在 9 ～ 10 以下。

(2) 石灰浆基层。石灰浆碱性很强，可用 3% 磷酸水溶液或用 5% 草酸水溶液清洗，以降低碱度。铲除表面浮灰，满刮腻子。

(3) 木材基层。清除表面油污、污垢和灰尘，并用砂纸打磨平滑，钉眼应用腻子填平，打磨光滑。木材表面的树脂、单宁、色素等杂质必须清除干净。

2. 涂料施工

涂料饰面的施涂方法通常有刷涂、滚涂、刮涂、喷涂、抹涂等，选择时应根据涂料的性质、被涂饰物的基层情况而定。

1) 刷涂

刷涂是人工用漆刷、排笔等工具在物体表面涂饰涂料的操作方法。此方法适用于大部分薄质涂料或云母片状厚质涂料、油漆。少数流平性较差或干燥太快的涂料不宜采用刷涂，可用于建筑物内外墙及地面涂料的施工。刷涂法的优点是工具简单、操作方便、适应性广、节省材料，不易污染环境及非涂饰部位。其缺点是生产效率低，表面漆膜质量、外观不够良好，且主要取决于实际操作者的直接经验。刷涂的顺序是先上后下、先左后右、先难后易、先边后面。刷涂要求全部刷匀刷到，无流坠、橘皮或皱纹，边角处无积油，有问题应及时进行处理。

2) 滚涂

滚涂是用不同类型的辊具将涂料滚涂在建筑物的表面上。此方法适用于油漆、内墙细料状或云母片状涂料工程。滚涂施工方法具有施工设备简单、操作方便、工效高、涂饰质量好及对环境无污染等优点。其缺点是不能用于几何图形复杂的物件和高装饰性物件。滚涂要求涂膜厚薄均匀，平整光滑，不流挂、不漏底。饰面式样花纹图案完整清晰、匀称一致，颜色协调。

3) 刮涂

刮涂是用刮板将涂料厚浆料均匀地批刮于饰涂面上，形成厚度为 1 ～ 2mm 的厚涂层。此方法多用于地面涂饰。为了增强装饰效果，刮涂法施工往往利用划刀或记号笔刻画有席纹、仿木纹等各种花纹。采用刮涂法施工时，刮刀与地面倾角一般要成 50° ～ 60° 夹角，只能来回刮涂 1 ～ 2 次，不能往返进行多次刮涂，否则容易出现“皮干里不干”的现象。

4) 喷涂

喷涂是使用空气压缩机通过喷嘴将涂料涂刷在建筑物的表面上。此方法适用于油

漆、粗填料或云母片的涂料工程。其特点是涂膜外观质感好、工效高，适于大面积施工，并可以通过调整涂料黏度、喷嘴大小及排气量，获得不同质感的装饰效果。喷涂施工一般可根据涂料的品种、稠度、最大粒径等，确定喷涂机械的种类、喷嘴的口径、喷涂压力、与基层之间的距离等。一般要求喷涂作业时手握喷枪要稳，喷嘴中心线与墙面要垂直，喷嘴与被涂面的距离保持在 40 ～ 60cm，喷枪移动时与喷涂面保持平行，喷枪的移动速度一般控制在 40 ～ 60cm/s。喷涂时一般两遍成活，先喷门窗口，后喷大面，先横向喷涂一遍，稍干后，再竖向喷涂一遍，两遍喷涂的时间间隔由喷涂的涂料品种和喷涂的厚度而定。喷涂施工要求涂膜应厚度均匀、颜色一致、平整光滑，不应有露底、皱纹、流挂、针孔、气泡、失光发花等缺陷。

9.4 吊顶工程

吊顶又称顶棚，是室内装饰工程的一个重要组成部分，具有保温、隔热、隔声和吸声作用，又可以安装监控、空调、照明等设备，还可作为安装管线设备的隐蔽层。

9.4.1 吊顶的形式

吊顶按结构形式分为明龙骨吊顶、暗龙骨吊顶、开敞式吊顶等；按使用材料又分为板材吊顶、轻钢龙骨吊顶、铝合金吊顶等。

1. 明龙骨吊顶

明龙骨吊顶又称活动式装配吊顶，是将饰面板明摆浮搁在龙骨上，通常与铝合金龙骨配套使用，便于更换。龙骨可以是外露的，也可以是半露的。这种吊顶一般不上人，饰面板常采用矿棉板、玻璃纤维板、装饰石膏板、钙塑装饰板、泡沫塑料板等轻质板材；悬吊件比较简单，通常用镀锌铁丝悬吊、伸缩式吊杆悬吊等。这种吊顶的特点是：龙骨既是吊顶的承重构件，又是吊顶饰面的压条，将过去难以处理的密封吊顶、离缝吊顶和分格缝顺直等问题，用龙骨遮挡起来，这样既方便了施工，又产生了纵横分格的装饰效果。活动式装配吊顶示意图如图 9.9 所示。

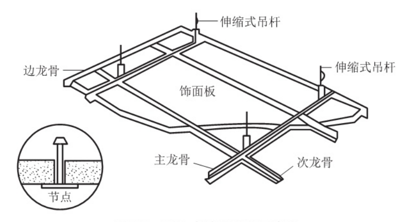


图 9.9 活动式装配吊顶示意图

2. 暗龙骨吊顶

暗龙骨吊顶又称隐蔽式吊顶，其龙骨不外露，罩面板固定在龙骨上且表面为整体。罩面板与龙骨固定有三种方式：用螺钉拧在龙骨上；用胶粘剂粘在龙骨上；将罩面板加工成企口形式，龙骨插入罩面板连成整体。龙骨一般采用薄壁型钢或镀锌铁皮挤压成型，有主龙骨、次龙骨及连接件等。隐蔽式装配吊顶的饰面板有胶合板、铝合金板、穿孔石膏吸声板、矿棉板、防火纸面石膏板、钙塑泡沫装饰板等，也可在胶合板上刮灰饰面或裱糊壁纸饰面。暗龙骨吊顶示意图如图 9.10 所示。

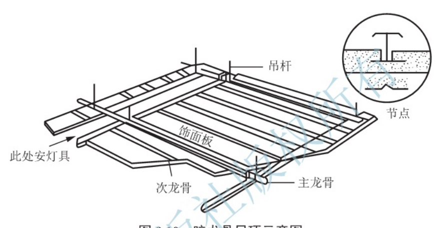


图 9.10　暗龙骨吊顶示意图

3. 开敞式吊顶

开敞式吊顶的饰面是敞开的，一般有金属装饰板式、木装饰板式等。这类吊顶主要通过特定形状的单元体及单元体组合和灯光的不同布置，营造出单体构成的韵律感，达到既遮又透的特殊艺术效果。开敞式吊顶的示意图如图 9.11 所示。

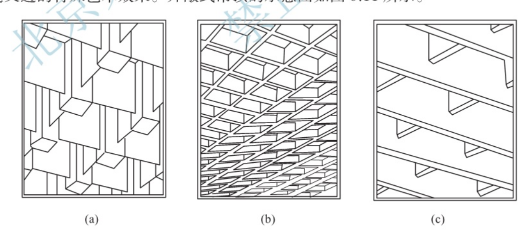


图 9.11　开敞式吊顶示意图

9.4.2　吊顶施工

1. 轻钢龙骨石膏装饰板吊顶（包括明龙骨吊顶、暗龙骨吊顶）施工

轻钢龙骨吊顶工程的施工顺序：弹线→安装吊杆→安装龙骨和配件→安装罩面石膏

板等。其具体施工方法如下。

(1) 施工准备。吊顶内的通风、水电管道及上人吊顶内的人行或安装通道应安装完毕；消防管道安装并试压完毕。检查吊顶吊点，对于有附加荷载的重型吊顶（上人吊顶），必须有安全可靠的吊点紧固措施。

(2) 测量、弹线。根据顶棚设计标高，沿墙面四周弹线定出顶棚安装的标准线，再根据大样图在顶棚上弹出吊点位置并复核吊点间距。吊点间距：一般上人顶棚为900 ～ 1200mm，不上人顶棚为 1200 ～ 1500mm。

(3) 安装吊杆。吊杆一般可用钢筋制作。吊杆的上端与结构连接固定的方法有与预埋件焊接、用预埋胀管螺栓连接或用射钉枪固定，下端需要套丝并配好螺帽，安装后吊杆端头螺纹外露长度应不小于 3mm，以便于有较大的调节量。

(4) 安装大、中龙骨。大龙骨可用吊挂件固定在吊杆上，将螺钉拧紧并调平，调平时顶棚的起拱高度应不小于房间短向跨度的 1/200；中龙骨一般用吊挂件固定在大龙骨下面，中龙骨的间距按安装的饰面板的板材尺寸确定，当板材的尺寸大于 800mm 时，中龙骨之间需要增加小龙骨，小龙骨与中龙骨平行布置，垂直方向用吊挂件与大龙骨连接固定。对于吊顶内的灯槽等，应根据工程情况适当布置。轻型灯具应吊在主龙骨或附加龙骨上，重型灯具或其他重型吊挂物不得与吊顶龙骨连接，应另设悬吊构造。

(5) 安装石膏板。安装石膏板方法有搁置平放法、嵌装式安装法等。搁置平放法是采用 T 形铝合金龙骨或轻钢龙骨时，将装饰石膏板搁置在由 T 形龙骨组成的各格栅框内，即完成吊顶安装。嵌装式安装通常采用企口暗缝咬接安装法，即将石膏板加工成企口暗缝的形式，龙骨的两条肢插入暗缝内即可。

安装石膏板的一般方法：①先从房间中心线部位开始往两边安装，大面积整块安装完毕后，再安墙边、灯孔、检修口等特殊部位；②将石膏板侧面凹槽对准龙骨的翼缘轻轻插入，然后再安插片及另一块吸声板。在相邻次龙骨上的石膏板安完后，方能安第二根次龙骨，并依次顺序进行。

2. 开敞式吊顶施工

开敞式吊顶施工顺序：弹线→地面拼装→吊顶安装→饰面调整等。

(1) 弹线。吊顶前，进行标高线和分片布置线的测量放线工作。首先根据顶棚设计标高，沿墙面四周弹线定出顶棚安装的标准线，再根据单体造型或单体组合构件在顶棚上定出分片布置线和吊挂布局线。分片布置线一般先从室内吊顶直角位置开始逐步展开；吊挂布局线应按分片布局线来确定，以使单体和多体吊顶的分片材料受力均匀。

(2) 地面拼装。地面拼装是指根据需要在地面上对单体和多体组合构件完成拼装工作。多体组合构件常见有单条板和方板组合式、六角框与方框组合式、方圆体组合式等。

(3) 吊顶安装。单体和多体组合构件、吊点紧固件一般采用射钉和膨胀螺栓固定角铁吊件的方式。

单体和多体组合构件的吊装方法分为直接固定法和间接固定法。

①直接固定法。将单体构件直接用吊杆悬挂固定；采用多体组合构件需要将多体的吊顶架与吊杆直接连接。

②间接固定法。单体与多体组合构件不与吊杆直接连接，而是通过卡具或连接件将

单体或多体组合构件连成整体，然后再通过通长钢管与吊杆连接；或者采用带卡口的吊管将单体构件卡住，然后再将吊管用吊杆悬吊。采用这种方法可以减少吊杆的数量，加快施工进度，主要适用于结构刚度不够，容易产生变形的结构。

安装时，从一个墙角开始，将分片吊顶托起，高度略高于标高线，并临时固定该分片吊顶架。然后，用线沿标高线拉出交叉的吊顶平面基准线。根据基准线调平该吊顶分片。如果吊顶面积大于 $100m^2$ 时，可以使吊顶面有一定的起拱。起拱量一般为 1.5/2000 左右。将调平的吊顶分片固定，然后将分片间用连接件进行连接固定。

(4) 饰面调整。饰面调整时首先应检查单体构件的安装与布局，对安装不稳，产生变形的部位应进行加固和修正，然后再沿标高线拉出多条平行或垂直的基准线，根据基准线进行吊顶面的整体调整，保证吊顶面整齐，使其符合设计要求。

9.5 建筑幕墙工程

幕墙工程是金属构件与各种杆件组成的悬挂在主体结构上、不承担主体结构荷载与作用的建筑物外围护结构，称为建筑幕墙。按建筑幕墙所采用的不同面板材料，主要分为玻璃幕墙、金属幕墙和石材幕墙。

9.5.1 玻璃幕墙

1. 玻璃幕墙分类

玻璃幕墙按结构及外观形式分为明框玻璃幕墙、隐框玻璃幕墙、半隐框玻璃幕墙、全玻璃幕墙。

1) 明框玻璃幕墙

明框玻璃幕墙的玻璃板四边镶嵌在铝框内，横梁（杆）、立柱（杆）均外露。明框玻璃幕墙是最传统的形式，应用广泛，工作性能可靠，使用寿命长，表面分格明显，容易满足施工技术水平要求。

2) 隐框玻璃幕墙

隐框玻璃幕墙是将玻璃用硅酮结构密封胶等固定在铝框上，铝框全部隐蔽在玻璃后面，形成大面积全玻璃镜面。玻璃与铝框之间完全靠结构胶黏结，结构胶要受玻璃自重和风荷载、地震等外力作用以及温度变化的影响，因而结构胶的性能及打胶质量是隐框玻璃幕墙安全性的关键环节之一。

3) 半隐框玻璃幕墙

半隐框玻璃幕墙是将玻璃两对边嵌在铝框内，两对边用结构胶黏结在铝框上，形成半隐框玻璃幕墙。半隐框玻璃幕墙有立柱外露横梁隐蔽和横梁外露立柱隐蔽两种。

4) 全玻璃幕墙

全玻璃幕墙是指整个幕墙面全部由玻璃组成，且支承结构都采用玻璃肋，或由骨架（无缝钢管、不锈钢拉杆）和不锈钢爪件组成，幕墙完全透明。

2.玻璃幕墙的主要材料

1）铝合金型材

玻璃幕墙采用的铝合金型材应符合现行国家标准的规定。铝合金型材的表面应清洁，不允许有裂纹、起皮、腐蚀和气泡存在；允许有轻微压坑、碰伤、擦伤和划伤存在，但其深度不应超过规范的规定。经阳极氧化的型材氧化膜的厚度应符合有关规范的要求，表面不允许有腐蚀点、电灼伤、黑斑、氧化膜脱落等缺陷存在。

2）钢材

用于玻璃幕墙结构的钢材有不锈钢、碳素钢和低合金钢。截面形式有槽钢、工字钢、等边和不等边角钢等。钢材的力学性能和截面尺寸偏差应满足现行规范的有关规定。

3）玻璃

玻璃幕墙常用的玻璃有浮法玻璃、热反射镀膜玻璃、吸热玻璃、夹层玻璃和夹丝玻璃。为了避免玻璃幕墙的玻璃破碎飞溅，造成伤人事故，宜采用安全玻璃，如钢化玻璃、夹片玻璃和夹丝玻璃等。玻璃的透光度、尺寸、外观质量应满足现行规范的有关规定。

4）密封胶

密封胶分为建筑密封胶（耐候胶）和结构密封胶（结构胶）。耐候胶的耐大气变化、耐紫外线和耐老化性能较好，结构胶的强度、延性和黏结性能优越。玻璃幕墙使用的密封胶主要有硅酮系列和改性硅酮系列密封胶、聚氨酯系列密封胶、丙烯酸系列密封胶等。密封胶的抗拉强度、剥离强度、撕裂强度、耐候性能等应符合现行规范的有关规定。

3.玻璃幕墙施工

玻璃幕墙安装施工顺序：测量放线→清理预埋件→安装连接件→安装骨架→安装玻璃→洁面处理。

(1) 测量弹线。将骨架的位置弹到主体结构上。用测量工具在主体上定出幕墙平面、立柱、分格及转角等基准线，并复测。

(2) 清理预埋件。一般在主体结构施工时，按照幕墙骨架设计图所规定的位置埋设了预埋件。放线后，应逐个检查预埋件的位置，剔除铁件上的水泥砂浆，涂刷防锈涂料。

(3) 骨架安装。进行骨架安装，一般先安装竖向杆件后再安装横向杆件。骨架安装可采用 M14 和 M16 不锈钢螺栓连接。螺栓初拧后，进行骨架的垂直度、平整度复核，并做相应的调整，使之满足设计和规范的要求后，再用测力扳手拧紧螺栓锚固。

(4) 安装玻璃。高层建筑面积较大的玻璃，可配以专用玻璃起吊设备起吊。铝合金型材骨架框格，玻璃可直接安装在框格凹槽内；型钢骨架无嵌玻璃的凹槽时，先将玻璃安装在铝合金框上，再将框格与型钢骨架连接。玻璃与金属构件不得直接接触，应先垫橡胶垫块，橡胶条缝隙中均匀注入密封胶，并及时清理缝外多余粘胶。

①隐框玻璃幕墙的玻璃安装。先按框格尺寸大小，在工厂内放样制作玻璃框，按所用玻璃选用硅酮系列结构胶，将玻璃粘贴在框上，包装后运至现场。然后将玻璃框依次弹墨线，安装在幕墙框格内，随即固定。玻璃之间的缝隙应用结构密封胶封严、密实、压光。半隐框幕墙的玻璃安装后，应在横框（竖隐横不隐）或竖框（横隐竖不隐）的分隔位置用铝合金扣板遮盖并锚固。隐框玻璃幕墙铝合金型材和玻璃的黏结表面，必须进行严格净化。

②全玻璃幕墙的玻璃安装。用玻璃吸盘安装机将玻璃插入支承框内，往底框、顶框内玻璃两侧缝隙内填填充料，然后往缝内用注射枪注入密封胶，在设计的肋玻璃位置的幕墙玻璃上刷结构胶，然后将肋玻璃用人工放入相应的顶、底框内，调节好位置后，黏结牢固。向肋玻璃两侧的缝隙内填填充料，注入密封胶。

(5) 处理幕墙与主体结构之间的缝隙。幕墙与主体结构之间的缝隙应采用防火的保温材料堵塞，内外表面应采用密封胶连续封闭，接缝应严密、不漏水。

(6) 抗渗漏试验。幕墙施工中应分层进行抗雨水渗漏性能检查。

9.5.2 金属幕墙

金属幕墙与玻璃幕墙从设计原理、安装方式等方面基本相似。金属幕墙大体可分为明框幕墙、隐框幕墙及半隐框幕墙。

金属幕墙适用于建筑高度不大于 150m 的建筑金属幕墙工程。

1. 金属幕墙的材料

金属板材、型钢、铝型材、建筑密封材料和硅酮结构密封胶、隔热保温材料等。

2. 金属幕墙的施工

施工程序：测量放线→安装连接件→安装骨架→安装面板→处理板缝→处理幕墙收口→处理变形缝→清理板面。

(1) 测量放线。根据主体结构上的轴线和标高线，按设计要求将支承骨架的安装位置线准确地弹到主体结构上。然后将所有预埋件打出，并复测其位置尺寸。

(2) 安装连接件。将连接件与主体结构上的预埋件焊接固定。当主体结构上没有埋设预埋铁件时，可在主体结构上打孔安设膨胀螺栓与连接铁件固定。

(3) 安装骨架。按弹线位置准确无误地将经过防锈处理的立柱用焊接或螺栓固定在连接件上，安装中应随时检查标高和中心线位置。将横梁两端的连接件及垫片安装在立柱的预定位置，并应安装牢固，其接缝应严密。

(4) 安装铝板。按施工图用铆钉或螺栓将铝合金板饰面逐块固定在型钢骨架上。板与板之间留缝 10 ～ 15mm，以便调整安装误差。

(5) 处理板缝。用清洁剂将金属板及框表面清洁干净后，立即在铝板之间的缝隙中先安放密封条或防风雨胶条，再注入硅酮耐候密封胶等材料，注胶要饱满，不能有空隙或气泡。

(6) 处理幕墙收口。收口处理可利用金属板将墙板端部及龙骨部位封盖。

(7) 处理变形缝。处理变形缝首先要满足建筑物伸缩、沉降的需要，同时也应达到装饰效果，通常采用异形金属板与氯丁橡胶带体系。

(8) 清理板面。清除板面护胶纸，把板面清理干净。

9.5.3 石材幕墙

石材幕墙是由金属构件与石料板材（如花岗石板等）组成的建筑外装饰结构。

石材幕墙适用于建筑高度不大于150m，抗震设防烈度不大于8度的建筑石材幕墙工程。

1. 石材幕墙的材料

石材、建筑密封材料、金属骨架、金属挂件、隔热保温材料等。

2. 石材幕墙的施工

施工程序：测量放线→安装金属骨架→安装石材板→处理板缝→清理板面。

1）安装石板

(1) 按幕墙面基准线仔细安装好底层第一层石材。

(2) 板与板之间留缝10～15mm，以便调整安装误差。石板安装时，左右、上下的偏差不应大于1.5mm。注意安放每层金属挂件的标高，金属挂件应紧托上层饰面板，而与下层饰面板之间留有间隙。

(3) 安装时要在饰面板的销钉孔或切槽口内注入大理石胶，以保证饰面板与挂件的可靠连接。

(4) 安装时宜先完成窗洞口四周的石材，以免安装发生困难。

(5) 安装到每一楼层标高时，要注意调整垂直误差。

2）处理板缝

在铝板之间的缝隙中注入硅酮耐候密封胶等材料。

3）处理幕墙收口

收口处理可利用金属板将墙板端部及龙骨部位封盖。

4）处理变形缝

处理变形缝首先要满足建筑物伸缩、沉降的需要，同时也应达到装饰效果。通常采用异形金属板与氯丁橡胶带体系。

9.6 裱糊工程

裱糊工程是我国的一种传统装饰工艺，是在工厂采用现代化工业生产手段，经过色印花、压纹轧花、复合、织造等工艺制成的一种卷材（包括各种壁纸和墙布），用胶粘剂粘贴于建筑室内，作为墙、柱等的表面装饰。

裱糊分壁纸裱糊和墙布裱糊。在室内墙、柱面及顶棚表面进行裱糊，具有吸声、耐水、防菌、防霉、易保养、装饰效果好、施工方便等优点。裱糊属于中高档建筑装饰。

9.6.1 裱糊材料

裱糊材料主要有壁纸、墙布、胶粘剂、腻子和涂料等。

1. 普通壁纸

纸面纸基壁纸，有大理石、各种木纹及其他印花等图案。属于早期产品，目前已应

用较少。其价格低廉，但性能差，不耐水，不能擦洗。

2. 塑料壁纸（PVC 壁纸）

以纸为基层、聚氯乙烯塑料薄膜为面层，经复合、印花、压花等工序制成。有普通型、发泡型、特种型等品种。具有一定的伸缩性和耐裂强度，施工简单，易粘贴，易更换。花色图案丰富，装饰效果好，应用最广。

3. 复合纸质壁纸

用双层纸（表纸和底纸），通过施胶、层压复合到一起后，再经印刷、压花、涂布等工艺印制而成。其色彩丰富，造价低，施工简便。

4. 纺织纤维壁纸

由棉、毛、麻、丝等天然纤维及化纤制成的各种色泽花式的粗细纱或织物再与基层纸贴合而成。也有用扁草竹丝或麻条与棉线交织后同纸基贴合制成的植物纤维壁纸。无毒、吸声、透气；视觉效果好；防污及可洗性能较差，保养要求高。

5. 金属壁纸

以铝箔为面层，纸为底层，面层也可印花、压花。表面有不锈钢、黄铜等金属质感与光泽；使用寿命长、不老化、耐擦洗、耐污染、易受机械损伤。

6. 墙布

墙布的品种有玻璃纤维墙布、无纺墙布、纯棉装饰墙布、化纤装饰墙布等。

9.6.2 裱糊施工

1. 施工工艺

壁纸裱糊施工工艺是：基层处理→弹线→裁纸→润纸→刷胶粘剂→裱糊→清理、修整。

2. 施工步骤

(1) 基层处理。基层表面应坚实，无毛刺、砂粒、凸起物、剥落和起鼓以及裂缝，色泽一致。将基层表面的污垢、尘土清除干净，混凝土、抹灰、木材等基层面满刮腻子一遍，腻子干后用砂纸打磨。有防潮要求的裱糊墙面，基层应进行防潮处理。

(2) 弹线。在底胶干燥后弹划基准线，以保证壁纸裱糊后，横平竖直，图案端正。弹线时应从墙面阴角处开始，以壁纸宽度弹垂直线，将窄条纸的裁切边留在阴角处，阳角处不得有接缝。

(3) 裁纸。按壁纸的品种、花色、规格进行选配、拼花、裁切、编号，以便按顺序粘贴，根据裱糊面尺寸和材料规格统筹规划，并考虑修剪量，两端各留出 30 ～ 50mm。裁边应平直整齐，不得有纸毛、飞刺等。裁好的壁纸要卷起平放，不得立放。

(4) 润纸（闷水）。塑料壁纸遇水或胶水自由膨胀大，因此，刷胶前必须先将塑料壁纸在水槽中浸泡 2 ～ 3min，取出后抖掉余水，然后才能涂胶。复合纸质壁纸由于湿强度

较差，禁止闷水润纸。纺织纤维壁纸也不宜闷水。金属壁纸裱糊前应浸水 1 ～ 2min，阴干 5 ～ 8min，再在背面刷胶。对于待粘贴的壁纸，若不了解其遇水膨胀的情况，可取其一小条试贴，隔日观察纵、横向收缩情况以确定是否润纸。

(5) 刷胶粘剂。基层表面与壁纸背面应同时涂胶。刷胶粘剂要求薄而均匀，不裹边，不得漏刷。基层表面的涂刷宽度要比预贴的壁纸宽 20 ～ 30mm。阴角处应增刷 1 ～ 2 遍胶。

塑料 PVC 壁纸裱糊墙面时，可只在基层表面涂刷胶粘剂；塑料 PVC 壁纸裱糊顶棚时，则基层和壁纸背面均应涂刷胶粘剂。裱糊顶棚时，带背胶的壁纸应涂刷一层稀释的胶粘剂。金属壁纸应使用壁纸粉一边刷胶、一边将刷过胶的部分向上卷在发泡壁纸卷上。

(6) 裱糊。裱糊壁纸时，应先垂直面后水平面，先细部后大面。垂直面先上后下，水平面先高后低。拼贴时先对图案，后拼缝。从上至下图案吻合后，再用刮板斜向刮胶，将拼缝处赶密实，然后从拼缝处刮出多余胶液，赶压气泡，并用湿毛巾擦净。对于需重叠对花的各类壁纸，应先裱糊对花，然后再用钢尺对齐裁下余边。壁纸不得在阳角处拼缝，阴角壁纸搭缝时，并应顺光搭接。遇有基层卸不下来的设备或凸出物件时，应将壁纸舒展地裱在基层上，然后剪去不需要部分，使凸出物四周不留缝隙。壁纸与顶棚、挂镜线、踢脚线的交接处应严密顺直。裱糊后，将上下两端多余壁纸切齐，撕去余纸，贴实端头。

(7) 修整。壁纸裱糊后，如有局部翘边、气泡等，应及时修补。

本章小结

通过本章的学习，了解抹灰工程、饰面板工程、涂饰工程、吊顶工程和建筑幕墙工程的一般做法，对其施工顺序、施工方法和质量要求应有所了解。

习　题

简答题

1. 试述一般抹灰的分类、组成以及各层的作用。
2. 简述一般抹灰的施工顺序和施工要点。
3. 装饰抹灰有哪些种类？简述其施工工艺和方法。
4. 试简述大块饰面板安装方法。
5. 简述干挂法施工要点。
6. 内、外墙面砖分为哪几种？
7. 简述内、外面砖镶贴方法。
8. 简述建筑涂料的分类。
9. 建筑涂料共有哪些品种？
10. 简述涂料的主要施工方法和工艺。

下　篇

施工组织

第10章 施工组织概论

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
建筑产品及其生产的特点	了解	建筑产品及其生产的特点
施工组织设计	掌握	施工组织设计的基本概念、施工组织设计的基本内容和编制依据、编制施工组织设计的方法和步骤
组织施工的原则	了解	组织施工的作用和意义
施工准备工作	了解	施工的准备工作
施工现场原始资料的调查	了解	施工现场原始资料调查的一般方法

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
编制施工组织设计	掌握	编制施工组织设计的基本内容、编制依据、方法和步骤

案例导航

某建筑施工公司承包的住宅小区项目，位于城市近郊的高教园区内。该建筑施工公司签订施工合同后，及时组成项目经理部，开始落实施工合同。项目经理负责制订组织施工的工作计划，项目副经理负责开工准备工作，技术负责人负责施工组织设计编制工作，助理工程师负责准备施工组织设计的编制依据。

本章问题讨论

1. 组织施工的工作计划应包含哪些内容？
2. 开工准备工作包含哪些内容？
3. 施工组织设计编制的一般步骤是什么？
4. 施工组织设计的编制依据有哪些？

10.1 建筑产品及其生产的特点

10.1.1 建筑产品的特点

由于建筑产品的使用功能、平面与空间组合、结构与构造形式等的特殊性，以及建筑产品所用材料的物理力学性能的特殊性，决定了建筑产品的特殊性。其具体特点如下。

1. 建筑产品在空间上的固定性

一般的建筑产品均由自然地面以下的基础和自然地面以上的主体两部分组成（地下建筑全部在自然地面以下）。基础承受主体的全部荷载（包括基础的自重），并传给地基；同时将主体固定在地球上。任何建筑产品都是在选定的地点上建造和使用，与选定地点的土地不可分割，从建造开始直至拆除均不能移动。所以，建筑产品的建造和使用地点在空间上是固定的。

2. 建筑产品的多样性

建筑产品不但要满足各种使用功能的要求，而且还要体现出地区的民族风格、物质文明和精神文明，同时也受到地区的自然条件等诸因素的限制，使建筑产品在规模、结构、构造、形式、基础和装饰等诸方面变化纷繁，因此建筑产品的类型多样。

3. 建筑产品体形庞大

无论是复杂的建筑产品，还是简单的建筑产品，为了满足其使用功能的需要，并结合建筑材料的物理力学性能，需要大量的物质资源，占据广阔的平面与空间，因而建筑产品的体形庞大。

10.1.2 建筑产品生产的特点

由于建筑产品地点的固定性、类型的多样性和体形庞大三大主要特点，决定了建筑产品生产的特点与一般工业产品生产的特点相比较具有自身的特殊性。其具体特点如下。

1. 建筑产品生产的流动性

建筑产品地点的固定性决定了产品生产的流动性。一般的工业产品都是在固定的工厂、车间内进行生产，而建筑产品的生产是在不同的地区，或同一地区的不同现场，或同一现场的不同单位工程，或同一单位工程的不同部位，组织工人、机械围绕着同一建筑产品进行生产。因此，建筑产品的生产在地区与地区之间、现场之间和单位工程不同部位之间流动。

2. 建筑产品生产的单件性

建筑产品地点的固定性和类型的多样性决定了产品生产的单件性。一般的工业产品是在一定的时期内，统一的工艺流程中进行批量生产，而具体的一个建筑产品应在国家或地区的统一规划内，根据其使用功能，在选定的地点上单独设计和单独施工。即使是选用标准设计、通用构件或配件，由于建筑产品所在地区的自然、技术、经济条件的不同，

也使建筑产品的结构或构造、建筑材料、施工组织和施工方法等也要因地制宜加以修改，从而使各建筑产品生产具有单件性。

3. 建筑产品生产的地区性

由于建筑产品的固定性决定了同一使用功能的建筑产品因其建造地点的不同必然受到建设地区的自然、技术、经济和社会条件的约束，使其结构、构造、艺术形式、室内设施、材料、施工方案等方面均各异。因此，建筑产品的生产具有地区性。

4. 建筑产品生产的周期长

建筑产品的固定性和体形庞大的特点决定了建筑产品生产周期长。因为建筑产品体形庞大，使得最终建筑产品的建成必然耗费大量的人力、物力和财力。同时，建筑产品的生产全过程还要受到工艺流程和生产程序的制约，使各专业、工种间必须按照合理的施工顺序进行配合和衔接。又由于建筑产品地点的固定性，使施工活动的空间具有局限性，从而导致建筑产品生产具有生产周期长、占用流动资金大的特点。

5. 建筑产品生产的露天作业多

建筑产品地点的固定性和体形庞大的特点决定了建筑产品生产露天作业多。因为形体庞大的建筑产品不可能在工厂、车间内直接进行施工，即使建筑产品生产达到了高度的工业化水平，也只能在工厂内生产其各部分的构件或配件，仍然需要在施工现场内进行总装配后才能形成最终建筑产品。因此，建筑产品的生产具有露天作业多的特点。

6. 建筑产品生产的高空作业多

由于建筑产品体形庞大，决定了建筑产品生产具有高空作业多的特点。特别是随着城市现代化的发展，高层建筑物的施工任务日益增多，使得建筑产品生产高空作业的特点日益明显。

7. 建筑产品生产组织协作的综合复杂性

由上述建筑产品生产的诸多特点可以看出，建筑产品生产的涉及面广。在建筑企业的内部，它涉及工程力学、建筑结构、建筑构造、地基基础、水暖电、机械设备、建筑材料和施工技术等学科的专业知识，要在不同时期、不同地点和不同产品上组织多专业、多工种的综合作业。在建筑企业的外部，它涉及各不同种类的专业施工企业，以及城市规划、征用土地、勘察设计、消防、“七通一平”、公用事业、环境保护、质量监督、科研试验、交通运输、银行财政、机具设备、物质材料、电的供应、水的供应、热的供应、气的供应、劳务等社会各部门和各领域的复杂协作配合，从而使建筑产品生产的组织协作关系综合复杂。

10.2 施工组织设计

施工组织设计就是针对建设项目建造过程的复杂性，用系统的思想并遵循技术经济

规律，对拟建工程的各阶段、各环节以及所需的各种资源进行统筹安排的计划管理行为。它努力使复杂的生产过程，通过科学、经济、合理的规划安排，达到建设项目能够连续、均衡、协调地进行施工，满足建设项目对工期、质量及投资方面的各项要求。

10.2.1 施工组织设计的作用和任务

施工组织设计是根据国家或建设单位对拟建工程的要求、设计图样和编制施工组织设计的基本原则，从拟建工程施工全过程的人力、物力和空间三个要素着手，在人力与物力、主体与辅助、工艺与设备、供应与消耗、生产与储存、专业与协作、使用与维修和空间布置与时间排列等方面进行科学、合理的部署，为建筑产品生产的节奏性、均衡性和连续性提供最优方案，从而以最少的资源消耗取得最大的经济效果，使最终建筑产品的生产在时间上达到速度快和工期短；在质量上达到精度高和功能好；在经济上达到消耗少、成本低和利润高的目标。

1. 施工组织设计的作用

施工组织设计的作用是对拟建工程施工的全过程实行科学管理的重要手段。通过施工组织设计的编制，可以全面考虑拟建工程的各种具体施工条件，扬长避短，拟定合理的施工方案，确定施工顺序、施工方法、劳动组织和技术经济的组织措施，合理地统筹安排拟订施工进度计划，保证拟建工程按期投产或交付使用；也为拟建工程的设计方案在经济上的合理性，在技术上的科学性和在实施工程上的可行性进行论证提供依据；还为建设单位编制基本建设计划和施工企业编制施工计划提供依据。施工企业可以提前掌握人力、材料和机具使用上的先后顺序，全面安排资源的供应与消耗；可以合理确定临时设施的数量、规模和用途；以及临时设施、材料和机具在施工场地上的布置方案。

2. 施工组织设计的任务

建筑产品体型庞大而复杂，需要大量材料和劳动力。一个建筑物、一个构筑物或一个建筑群的施工，是由许多工种工程采用不同的施工顺序共同完成的。而每一个工种工程的施工都可以采用不同的施工方案、不同的劳动组织和施工组织方法来完成。

对于上述问题，如何根据工程的性质、规模和各种客观条件，从技术和经济统一的全局出发，对各种问题统筹考虑，做出科学、合理的全面部署，编制出指导施工的施工组织设计，是一项具有全局性和战略性的任务。

10.2.2 施工组织设计的分类和内容

1. 施工组织设计的分类

施工组织设计是一个总的概念，按设计阶段、编制时间、编制对象范围、使用时间的长短和编制内容的繁简程度不同，有以下几种分类。

1）按设计阶段的不同分类

设计按两个阶段进行时，施工组织设计分为施工组织总设计（扩大初步施工组织设计）和单位工程施工组织设计两种。

设计按三个阶段进行时，施工组织设计分为施工组织设计大纲（初步施工组织设计）、施工组织总设计和单位工程施工组织设计三种。

2）按编制时间的不同分类

施工组织设计按编制时间的不同可分为投标阶段编制的综合指导性施工组织设计（简称标前设计）和中标后签订工程承包合同编制的实施性施工组织设计（简称标后设计）两种。

3）按编制对象范围的不同分类

施工组织设计按编制对象范围的不同可分为施工组织总设计、单位工程施工组织设计、分部分项工程施工组织设计三种。

(1) 施工组织总设计。施工组织总设计是以一个建筑群或一个建设项目为编制对象，用以指导整个建筑群或建设项目施工全过程的各项施工活动的综合性技术经济文件。施工组织总设计一般在初步设计或扩大初步设计被批准之后，由总承包企业的总工程师主持进行编制。

(2) 单位工程施工组织设计。单位工程施工组织设计是以一个单位工程（一个建筑物或构筑物，一个交工系统）为编制对象，用以指导其施工全过程的各项施工活动的综合性技术经济文件。单位工程施工组织设计一般在施工图设计完成后，在拟建工程开工之前，由工程处的技术负责人主持进行编制。

(3) 分部分项工程施工组织设计。分部分项工程施工组织设计（也叫分部分项工程作业设计）是以分部、分项工程为编制对象，用以具体实施其施工过程的各项施工活动的技术、经济和组织的综合性文件。分部分项工程施工组织设计一般是同单位工程施工组织设计的编制同时进行，并由单位工程的技术人员负责编制。

一般对于工程规模大、技术复杂或施工难度大的建筑物或构筑物，在编制单位工程施工组织设计之后，常需对某些重要的又缺乏经验的分部、分项工程再深入编制施工组织设计，如深基础工程、大型结构安装工程、高层钢筋混凝土主体结构工程、地下防水工程等。

2. 施工组织设计的内容

1）标前施工组织设计

由于标前设计的作用是为了投标书和进行签约谈判提供依据，因此应包括以下内容。

(1) 施工方案。

(2) 施工进度计划。

(3) 主要技术组织措施。

(4) 施工平面布置图。

(5) 其他有关投标和签约谈判需要的设计。

2）施工组织总设计

3）单位工程施工组织设计

4）分部分项工程施工组织设计

10.2.3 施工组织设计编制

1. 施工组织设计编制的依据

(1) 设计资料，包括已批准的设计任务书、初步设计（或扩大初步设计）、施工图样

和设计说明书等。

(2) 自然条件资料，包括地形、工程地质、水文地质和气象资料。

(3) 技术经济条件资料，包括建设地区的建材工业及其产品、资源、供水、供电、交通运输、生产、生活基地设施等资料。

(4) 施工合同规定的有关指标，包括建设项目的交付使用日期，施工中要求采用的新结构、新技术和有关的先进技术指标等。

(5) 施工企业及相关协作单位可配备的人力、机械、设备和技术状况，以及施工经验等资料。

(6) 国家和地方有关现行规范、规程和定额标准等资料。

2.施工组织设计编制的原则

1) 充分利用时间和空间的原则

建设工程是一个体型庞大的空间结构，按照时间的先后顺序，对工程项目各个构成部分的施工要作出计划安排，即在什么时间、用什么材料、使用什么机械、在什么部位进行施工，也就是时间和空间的关系问题。要处理好这种关系，除了要考虑工艺关系外，还要考虑组织关系。要利用运筹理论、系统工程理论解决这些关系，实现项目实施的三大目标。

2) 工艺与设备配套优选的原则

任何一个工程项目都具有一定的工艺过程，可采用多种不同的设备来完成，但却具有不同的效果，即不同的质量、工期和成本。

例如在混凝土工程施工中，桩基础的水下浇筑混凝土、梁（柱）体混凝土浇筑、路面混凝土的浇筑等，均要求最后一盘混凝土浇筑完毕，第一盘浇筑的混凝土不得初凝。因此，在安排混凝土搅拌、运输、振捣机械时，要在保证满足工艺要求的条件下，使这三种机械相互配套，防止施工过程出现脱节，充分发挥三种机械的工作效率。如果配套机组较多，则要从中优选一组配套机械提供使用，这时应通过技术经济比较作出决策。

3) 最佳技术经济决策的原则

完成某些工程项目存在不同的施工方法，具有不同的施工技术，使用不同的机械设备，要消耗不同的材料，会带来不同的结果——质量、工期、成本。因此，对于此类工程项目的施工，可以从这些不同的施工方法、施工技术中，通过具体的计算、分析、比较，选择出最佳的技术经济方案，以达到降低成本的目的。

4) 专业化分工与密切协作相结合的原则

现代施工组织管理既要求专业化分工，又要求密切协作，特别是流水施工组织原理和网络计划技术的编制，尤为如此。

处理好专业化分工与协作的关系，就是要减少或防止窝工，提高劳动生产率和机械使用效率，以达到提高工程质量、降低工程成本和缩短工期的目的。

5) 供应与消耗协调的原则

物资的供应要保证施工现场的消耗。物资的供应既不能过剩又不能不足，它要与施工现场的消耗相协调。如果供应过剩，则要多占用临时用地面积、多建存放库房，必然增加临时设施费用，同时物资过剩积压，存放时间过长，必然导致部分物资变质、失效，

从而增加材料费用的支出，最终造成工程成本的增加；如果物资供应不足，必然出现停工待料，影响施工的连续性，降低劳动生产率，既延长了工期又提高了工程成本。因此，在供应与消耗的关系上，一定要坚持协调性原则。

3. 施工组织设计编制的程序

(1) 施工组织总设计编制的程序如图 10.1 所示。

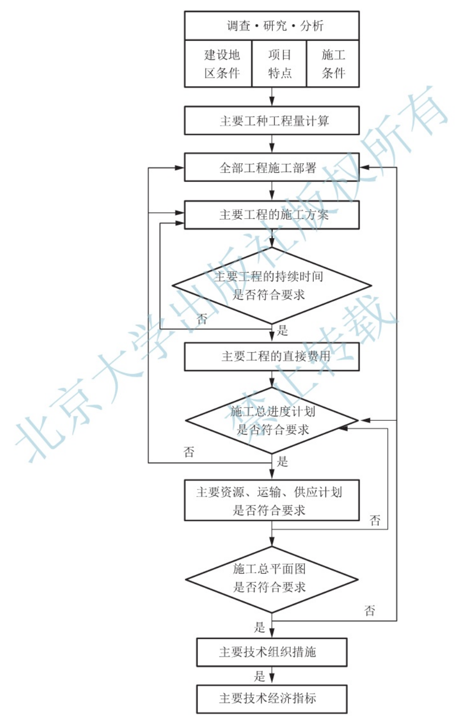


图 10.1　施工组织总设计编制的程序

(2) 单位工程施工组织设计编制的程序如图 10.2 所示。

（3）分部分项工程施工组织设计编制的程序如图 10.3 所示。

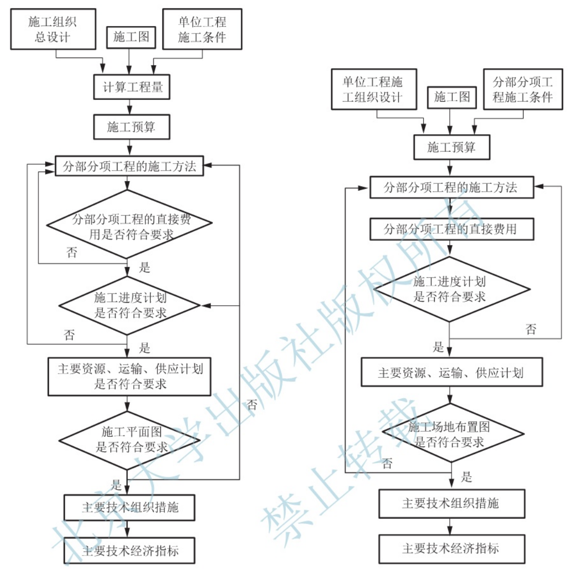


图 10.2　单位工程施工组织设计编制的程序　　　**图 10.3　分部分项工程施工组织设计编制的程序**

10.3　组织施工的原则

施工组织就是针对工程施工的复杂性，讨论与研究施工过程，为达到最优效果，寻求最合理的统筹安排与系统管理客观规律的一门学科。

组织施工就是根据建筑施工的技术经济特点，国家的建设方针政策和法规，业主的计划与要求，对耗用的大量人力、材料、机具、资金和施工方法等进行合理的安排，协调各种关系，使之在一定的时间和空间内，得以实现有组织、有计划、有秩序地施工，以期在整个工程施工上达到最优效果，即进度上耗工少，工期短；质量上精度高，功能好；经济上资金省，成本低。所以组织施工是一项非常重要的工作，根据以往的实践经验，

结合生产的特点，在组织施工时，应遵循以下基本原则。

1. 搞好项目排队，保证重点，统筹安排

建筑业企业及其项目经理部一切生产经营活动的根本目的在于把建设项目迅速建成，使之尽早投产或使用。因此，应根据拟建项目的轻重缓急和施工条件落实情况，对工程项目进行排队，把有限的资源优先用于国家或业主的重点工程上，使其早日投产；同时照顾一般工程项目，把两者有机结合起来，避免过多的资源集中投入，以免造成人力、物力的浪费。总之应保证重点，统筹安排，应在时间上分期、在项目上分批。还需注意辅助项目与主要项目的有机联系，注意主体工程与附属工程的相互关系，重视准备项目、施工项目、收尾项目、竣工投产项目之间的关系，做到协调一致，配套建设。

2. 科学合理地安排施工顺序

土木工程活动的展开由其特点所决定，在同一场地上不同工种交叉作业，其施工的先后顺序反映了客观要求，而平行交叉作业则反映了人们争取时间的主观努力。施工顺序的科学合理，能够使施工过程在时间上、空间上得到合理安排，尽管施工顺序随工程性质、施工条件不同而变化，但经过合理安排还是可以找到其可供遵循的规律。

1）先准备，后施工

施工准备工作应满足一定的施工条件方可开工，并且开工后能够连续施工，以免造成混乱和浪费。整个建设项目开工前，应完成全场性的准备工作，如平整场地、路通、水通、电通等；同样各单位工程（或单项工程）和各分部分项工程，开工前必须完成其相应的准备工作。施工准备工作实际上贯穿于整个施工过程。

2）先下后上，先外后内

在处理地下工程与地上工程关系时，应遵循先地下后地上和先深后浅的原则。在修筑铁路及公路，架（敷）设电水管线时，应先场外后场内；场外由远而近，先主干后分支；排（引）水工程要先下游后上游。

3）先土建，后安装

工程建设一般要求土建先行，土建要为设备安装和试运行创造条件，并应考虑投料试车要求。

4）工种与空间的平行交叉

在考虑施工工艺要求的各专业工种的施工顺序的同时，要考虑施工组织要求的空间顺序，既要解决工种时间上搭接的问题，同时又要解决施工流向的问题，以保证各专业工作队能够有次序地在不同施工段（区）上不间断地完成其工作任务，目的是充分利用时间和空间。这样的施工方式具有工程质量好、劳动效率高、资源利用均衡、工期短等特点。

3. 注重工程质量，确保安全施工

工程的质量优劣直接影响其寿命和使用效果，也关系到建筑企业的信誉，应严格按设计要求组织施工，严格按施工规范（规程）进行操作，确保工程质量。安全是顺利开展工程建设的保障，只有不造成劳动者的伤亡和不危害劳动者的身体健康，才有施工质量的保证，才有进度的保证，也才不会造成财产损失。“质量第一，安全为先”是综合控制的重要观念。

4. 尽量采用先进技术，提高建筑工业化程度

技术是第一生产力，正确使用技术是保证质量、提高效率的前提条件。应积极采用新材料、新工艺、新设备。技术运用与技术革新要结合工程特点和施工条件，使技术的先进性、适用性和经济性相结合。

建筑技术进步的重要标志之一是建筑工业化，而建筑工业化主要体现在认真执行工厂预制和现场预制相结合的方针，努力提高施工机械化程度等。

5. 恰当地安排冬期、雨期施工项目

由于建筑产品露天作业的特点，施工必然受气候和季节的影响。冬季的严寒和夏季的多雨，都不利于建筑施工的进行，应恰当安排冬期、雨期施工项目。对于那些进入冬期、雨期施工的工程，应落实季节性施工措施，这样可以增加全年的施工日数，提高施工的连续性和均衡性。

6. 尽量减少暂设工程，合理布置施工现场，努力提高文明施工水平

尽量利用正式工程、原有或就近已有设施，以减少各种暂设工程；尽量利用当地资源，合理安排运输、装卸及储存作业，减少物资运输量，避免二次搬运，在保证正常供应的前提下，储备物资数额要尽可能减少，以减少仓库与堆场的面积；精心规划布置场地，节约施工用地，做到文明施工。

7. 采用科学规范的管理方法

先进施工技术水平的发挥离不开先进的管理方法，施工项目管理要求两层（企业管理层和项目管理层）分离，实行项目经理责任制；要求实行目标管理，施工的最终目的就是实现“项目管理目标责任书”中约定的工期、质量、成本、安全等目标；要求实行全过程、全面的、动态的管理。

10.4 施工准备工作

常言道“不打无准备之仗”，搞工程也是同样的道理。由于建筑施工是在各种各样的条件下进行的，投入的资源多，影响因素多，在施工过程中必然遇到各种各样的技术问题、协作配合问题等。对于这样一项复杂而庞大的系统工程，如果事先缺乏全面、充分的安排，必然使施工活动陷于被动，使工程施工无法正常进行，欲速则不达。进行施工准备是为了能够使工程开工以后按计划顺利进行，进行得更好更快。

施工准备工作有计划、有步骤、分阶段地进行，其内容很多，可归纳为以下几个方面。

10.4.1 技术准备

1. 图样会审和技术交底

建设单位应在开工前向有关规划部门送审初步设计及规划图。初步设计文件审批后，

根据批准的年度基建计划，组织进行施工图设计。施工图是进行施工的具体依据，图样会审是施工前的一项重要准备工作。

图样会审包括以下内容：熟悉、审查施工图样和有关的设计资料；熟悉、审查设计图样的目的；熟悉、审查设计图样的内容。

在图样会审的基础上，按施工技术管理程序，应在单位工程或分部、分项工程施工前逐级进行技术交底。如对施工组织设计中涉及的工艺要求、质量标准、技术安全措施、规范要求和采用的施工方法，以及图样会审中涉及的要求及变更等内容向有关的施工人员交底。

技术交底应有以下分工。

(1) 凡由公司组织编制施工组织设计的工程，由公司主管生产技术的经理主持，公司总工程师向有关项目经理部经理、主管工程师、栋号技术负责人以及有关职能负责人进行交底，交底的内容可以以总工程师签发的会议记录或其他文字资料为准。

(2) 凡由项目经理部编制的施工组织设计的工程，由项目经理部主管工程师向参加施工的技术负责人和项目经理部有关技术人员进行交底，交底后将主管工程师签发的技术交底文件，交栋号技术负责人作为指导施工的技术依据。

(3) 栋号技术负责人，在施工前根据施工进度，按部位和操作项目，向工长及班组长进行技术交底。

2. 工程计量、计价与审查

根据审定后的全套施工详图及设计说明书、图样会审纪要、施工组织设计及施工方案，严格按照工程量计算规则，计算工程的各分部分项工程量；根据《建设工程工程量清单计价规范》(GB 50500—2013)、消耗量定额、各地规费及有关材料调差等，进行计价，以确定工程项目的预算价格，做到计量准确、取费合理、内容完整。

建设单位在接到工程项目的预算报价后，为避免出现追加合同价款，应重点审查以下内容：工程量计算规则是否有较大的差异；消耗量定额套用是否准确；取费标准与调价指标的确定是否合理；预算项目是否存在漏套、漏算现象；预算价格是否突破工程项目投资申请额。

3. 编制中标后的施工组织设计

中标后的施工组织设计是施工准备工作的重要组成部分，也是指导施工现场全部生产活动的技术经济文件。建筑施工生产活动的全过程是非常复杂的物质财富再创造的过程，为了正确处理人与物、主体与辅助、工艺与设备、专业与协作、供应与消耗、生产与储存、使用与维修以及它们在空间布置、时间排列之间的关系，必须根据拟建工程的规模、结构特点和建设单位的要求，在原始资料调查分析的基础上，编制出一份能切实指导该工程项目全部施工活动的科学方案——施工组织设计。

10.4.2 物资准备

材料、构（配）件、制品、机具和设备是保证工程项目施工顺利进行的物质基础，

这些物资的准备工作必须在工程开工之前完成。根据各种物资的需要量计划，分别落实货源，安排运输和储备，使其满足连续施工的要求。

1. 物资准备工作的内容

物资准备工作主要包括建筑材料的准备；构（配）件和制品的加工准备；建筑安装机具的准备和生产工艺设备的准备。

(1) 建筑材料的准备。建筑材料的准备主要是根据工程量及消耗量定额进行分析，按照施工进度计划要求，按材料名称、规格、使用时间、材料储备定额和消耗定额进行汇总，编制出材料需要量计划，为组织备料、确定仓库、场地堆放所需的面积和组织运输等提供依据。

(2) 构（配）件、制品的加工准备。根据工程量及消耗量定额提供的构（配）件、制品的名称、规格、质量和数量，确定加工方案、供应渠道及进场后的储存地点和方式，编制出其需要量计划，为组织运输、确定堆场面积等提供依据。

(3) 建筑安装机具的准备。根据采用的施工方案、安排的施工进度，确定施工机械的类型、数量和进场时间，确定施工机具的供应办法和进场后的存放地点和方式，编制建筑安装机具的需要量计划，为组织运输、确定存放面积等提供依据。

(4) 生产工艺设备的准备。按照施工项目生产工艺流程及工艺设备的布置图，提出工艺设备的名称、型号、生产能力和需要量，确定分期分批进场时间和保管方式，编制工艺设备需要量计划，为组织运输、确定堆场面积提供依据。

2. 物资准备工作的程序

物资准备工作的程序是搞好物资准备的重要手段。通常按以下程序进行。

(1) 根据工程量及消耗量定额、分部（分项）工程施工方法和施工进度的安排，拟订各种建筑材料、构（配）件及制品、施工机具和工艺设备等物资的需要量计划。

(2) 根据各种物资需要量计划，组织货源，确定加工、供应地点和供应方式，签订物资供应合同。

(3) 根据各种物资的需要量计划和合同，拟定运输计划和运输方案。

(4) 按照施工总平面图的要求，组织物资按计划时间进场，在指定地点，按规定方式进行储存或堆放。

物资准备工作程序如图 10.4 所示。

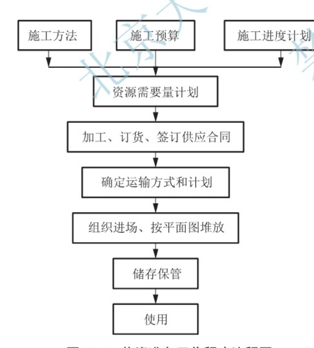


图 10.4　物资准备工作程序流程图

10.4.3 劳动组织准备

劳动组织准备的范围既有整个建筑施工企业的劳动组织准备，又有大型综合的拟建建设项目的劳动组织准备，也有小型简单的拟建单位工程的劳动组织准备。劳动组织准备一般包括如下工作内容。

1. 建立拟建工程项目的领导机构

施工组织领导机构的建立应根据拟建工程项目的规模、结构特点和复杂程度，确定拟建工程项目施工的带领机构人选和名额；坚持合理分工与密切协作相结合；把有施工经验、有创新精神、有工作效率的人选入领导机构；认真执行因事设职、因职选人的原则。

2. 建立精干的施工队组

施工队组的建立要认真考虑专业、工种的合理搭配，技工、普工的比例要满足合理的劳动组织，要符合流水施工组织方式的要求；确定建立施工队组要坚持合理、精干的原则；同时根据拟建工程项目的工程量、消耗量定额，制订出该工程的劳动力需要量计划。

3. 集结施工力量、组织劳动力进场

工地领导机构确定之后，按照开工日期和劳动力需要量计划，组织劳动力进场。同时要进行安全、防火和文明施工等方面的教育，并安排好职工的生活。

10.4.4 施工现场准备

施工现场是施工的全体参加者为夺取优质、高效、低耗的目标，而有节奏、均衡、连续地进行战术决战的活动空间。施工现场的准备工作，主要是为了给施工项目创造有利的施工条件和物资保证。其主要内容如下。

1. 做好施工场地的控制网测量

按照设计单位提供的建筑总平面图及给定的永久性经纬坐标控制网和水准控制基桩，进行厂区施工测量，设置厂区的永久性经纬坐标桩、水准基桩和建立厂区工程测量控制网。

2. 搞好“三通一平”

“三通一平”是指路通、水通、电通和平整场地。

(1) 路通：施工现场的道路是组织物资运输的动脉。拟建工程开工前，必须按照施工总平面图的要求，修好施工现场的永久性道路（包括厂区铁路、公路）以及必要的临时性道路，形成畅通的运输网络，为建筑材料进场、堆放创造有利条件。

(2) 水通：水是施工现场的生产和生活不可缺少的。拟建工程开工之前，必须按照施工总平面图的要求，接通施工用水和生活用水的管线，使其尽可能与永久性的给水系统结合起来，做好地面排水系统，为施工创造良好的环境。

(3) 电通：电是施工现场的主要动力来源。拟建工程开工前，要按照施工组织设计的要求，接通电力和电信设施，做好其他能源（如整齐、压缩空气）的供应，确保施工

现场动力设备和通信设备的正常运行。

(4) 平整场地：按照建筑施工总平面图的要求，首先拆除场地上妨碍施工的建筑物或构筑物，然后根据建筑总平面图规定的标高和土方竖向设计图样，进行挖（填）土方的工程量计算，确定平整场地的施工方案，进行平整场地的工作。

3. 做好施工现场的补充勘探

对施工现场做补充勘探是为了进一步寻找枯井、防空洞、古墓、地下管道、暗沟和枯树根等隐蔽物，以便及时拟定处理隐蔽物的方案，并进行实施，为基础工程施工创造有利条件。

4. 建造临时设施

按照施工总平面图的布置，建造临时设施，为正式开工准备好生产、办公、生活、居住和储存等临时用房。

5. 安装、调试施工机具

按照施工机具需要量计划，组织施工机具进场，根据施工总平面图将施工机具安置在规定的地点及仓库。对于固定的机具要进行就位、搭棚、接电源、保养和调试等工作。对所有施工机具都必须在开工之前进行检查和试运转。

6. 做好建筑材料、构（配）件、制品的储存和堆放

按照建筑材料、构（配）件、制品的需要量计划组织进场，根据施工总平面图规定的地点和指定的方式进行储存和堆放。

7. 及时提供建筑材料的试验申请计划

按照建筑材料的需要量计划，及时提供建筑材料的试验申请计划。例如，钢材的机械性能和化学成分等试验；混凝土、砂浆的配合比和强度试验等。

8. 做好冬期、雨期施工安排

按照施工组织设计的要求，落实冬期、雨期施工的临时设施和技术措施。

9. 进行新技术项目的试制和试验

按照设计图样和施工组织设计的要求，认真进行新技术项目的试制和试验。

10. 设置消防、保安设施

按照施工组织设计的要求，根据施工总平面图的布置，建立消防、保安等组织机构和有关的规章制度，布置安排好消防、保安等措施。

10.4.5 施工场外准备

施工准备除了施工现场内部的准备工作外，还有施工现场外部的准备工作，其具体内容如下。

1. 材料的加工和订货

建筑材料、构（配）件和建筑制品大部分均必须外购，工艺设备更是如此。这样如何与加工部门、生产单位联系，签订供货合同，搞好及时供应，对于施工企业的正常生产是非常重要的；对于协作项目也是这样，除了要签订议定书之外，还必须做大量有关方面的工作。

2. 做好分包工作和签订分包合同

由于施工单位本身的力量有限，有些专业工程的施工、安装和运输等均需要向外单位委托或分包。根据工程量、完成日期、工程质量和工程造价等内容，与其他单位签订分包合同，保证工程按时实施。

3. 向上级提交开工申请报告

当材料的加工、订货和分包工作、签订分包合同等施工场外的准备工作做好后，应该及时地填写开工申请报告，并上报上级主管部门批准。

10.5 施工现场原始资料的调查

通过原始资料的调查分析，可以获取建设地点的第一手资料。

10.5.1 自然条件资料

建设地区自然条件的调查，其主要资料内容有地区水准基点和绝对标高；地质构造、土的性质和类别、地基土的承载能力以及地震级别和烈度；河流流量、河水水质、最高洪水期及枯水期的水位；地下水位的高低变化情况，含水层的厚度、流向、流量以及水质情况；气温、雨、雪、风及雷电等情况；土壤的冻结深度、冬雨季的期限等。建设地区自然条件调查的内容和目的见表 10-1。

表 10-1 建设地区自然条件调查内容和目的

序号	项目		调查内容	调查目的
1	气象	气温	(1) 年平均最高、最低、最冷、最热月的逐月平均温度，结冰期，解冻期 (2) 冬、夏季室外极限温度 (3) ≤ -3℃、0℃、5℃的天数，起止时间	(1) 防暑降温 (2) 冬期施工 (3) 估计混凝土、砂浆强度的增长情况
		雨	(1) 雨季起止时间 (2) 全年降水量、一日最大降水量 (3) 全年雷暴日数	(1) 雨期施工 (2) 工地排水、防涝 (3) 防雷
		风	(1) 主导风向及频率 (2) ≤ 8 级风全年天数、时间	(1) 布置临时设施 (2) 高空作业及吊装措施

（续）

序号	项目		调查内容	调查目的
2	工程地质、地形	地形	(1) 区域地形图 (2) 工程位置地形图 (3) 该区域的城市规划 (4) 控制桩、水准点的位置	(1) 选择施工用地 (2) 布置施工总平面图 (3) 计算现场平整土方量 (4) 掌握障碍物及数量
		地质	(1) 通过地质勘察报告，搞清地质剖面图、各层土类别及厚度、地基土强度等 (2) 地下各种障碍物及问题坑井等	(1) 选择土方施工方法 (2) 确定地基处理方法 (3) 基础施工 (4) 障碍物拆除和问题土处理
		地震	地震级别及历史记载情况	确定施工方案
3	工程水文地质	地下水	(1) 最高、最低水位及时间 (2) 流向、流速及流量 (3) 水质分析	(1) 基础施工方案的选择 (2) 确定是否降低地下水位及降水办法 (3) 水侵蚀性及施工注意事项
		地面水	(1) 附近江河湖泊及距离 (2) 洪水、枯水时期 (3) 水质分析	(1) 临时给水 (2) 施工防洪措施

10.5.2 技术经济条件资料

收集建设地区的技术经济条件的资料，目的在于查明建设地区地方工业、交通运输、动力资源和生活福利设施等地区经济因素的可能利用程度。其主要资料内容有地方施工企业的状况；施工现场的动迁状况；当地可利用的地方材料状况；地方能源和交通运输状况；地方劳动力、技术水平状况；当地生活供应、教育、医疗卫生的状况；当地消防、治安状况；参加施工单位的企业等级、技术和管理水平、施工能力、社会信誉；以及主管部门对建设地区工程招投标、建设监理、建筑市场管理的有关规定和政策等。

本章小结

通过本章的学习，要求了解建筑施工组织的基本内容；明确施工组织设计基本任务、作用、分类及编制原则；熟悉建筑施工组织设计编制方法和准备工作。

习题

一、简答题

1. 简述组织施工的基本原则。

2. 简述施工组织设计的编制原则。
3. 施工组织设计的基本内容有哪些?
4. 施工准备工作如何分类?
5. 施工准备工作的主要内容有哪些?
6. 简答施工组织设计分类。
7. 简述技术准备工作的内容。
8. 什么是“三通一平”?
9. 施工组织设计编制有哪些依据?
10. 单位工程施工组织设计的内容有哪些?

二、选择题

1. 下列不属于施工技术资料准备工作内容的是（　）。(2011 年二级建造师考试施工管理真题)

A. 图样会审　B. 编制施工预算　C. 调查自然条件　D. 技术交底

2. 施工准备工作的核心是（　）。(2012 年二级建造师考试施工管理真题)

A. 技术资料准备　B. 资源准备　C. 季节施工准备　D. 施工现场准备选择

3. 下列施工组织设计内容中，应当首先确定的是（　）。(2013 年二级建造师考试施工管理真题)

A. 施工平面图设计　B. 机具设备需求计划
C. 施工进度计划　D. 施工方案

4. 某住宅小区建设中，承包商针对其中一栋住宅楼施工所编制的施工组织设计，属于（　）。(2013 年二级建造师考试施工管理真题)

A. 施工组织设计　B. 单位工程施工组织设计
C. 单项工程施工组织设计　D. 分部工程施工组织设计

5. 建筑产品的固定性是由（　）所确定的。

A. 建筑生产的特点　B. 经营管理的特点
C. 建筑产品本身的特点　D. 建筑产品的生产全过程

第11章 流水施工原理

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
流水施工的基本概念	掌握	施工组织的方式有依次施工、平行施工、流水施工
流水施工的基本参数	重点掌握	工艺参数、空间参数、时间参数
流水施工的基本组织方式	掌握	流水施工的分类、流水施工组织
流水施工组织实例	掌握	工程概况及施工条件、施工方案、流水施工组织

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
流水施工中基本参数的确定	重点掌握	在确定了基本参数之后才能进行合理方案的选择与安排
流水施工组织	重点掌握	在考虑时间、资源各类条件之后，采用的流水施工组织形式决定了施工质量的优劣性和经济性

案例导航

某框架结构某层有3个施工过程，划分为3个阶段，各施工过程在各施工段上的流水节拍见下表，试组织流水施工。

施工过程	施工段		
	①	②	③
支模板	1	1	1
绑钢筋	3	3	3
浇筑混凝土	2	2	2

本章问题讨论

1. 表中数据的具体含义是什么？
2. 流水施工的基本含义是什么？组织流水施工有哪些步骤？
3. 如何合理确定组织流水施工的基本参数？

11.1 流水施工的基本概念

11.1.1 流水施工的基本特征

工业生产的实践证明，流水作业法是组织生产的有效方法。流水作业法的原理同样也适用于土木工程的施工。表 11-1 为工业生产线的流水作业与土木工程的流水施工的不同点。

表 11-1 工业生产线的流水作业与土木工程的流水施工的不同点

对　　象	工业生产线	土木工程
生产者	固定的	流动的
产品或中间产品	流动的	固定不动的

土木工程施工的组织方式不同，其技术经济效益也不相同。常见的施工组织方式有依次施工、平行施工和流水施工。下面以某三栋相同建筑基础工程施工为例，采用三种不同施工组织方式进行对比。

11.1.2 组织流水施工的步骤

(1) 把施工对象按施工顺序（工艺要求）划分为若干个施工过程。划分的粗细程度要根据需要确定。

(2) 对各个施工过程进行劳动组织分工。

(3) 合理划分施工段（层），施工段的划分要适当。

(4) 建立生产节奏，确定每一个施工过程的延续时间。

(5) 组织各个施工过程之间的合理关系。

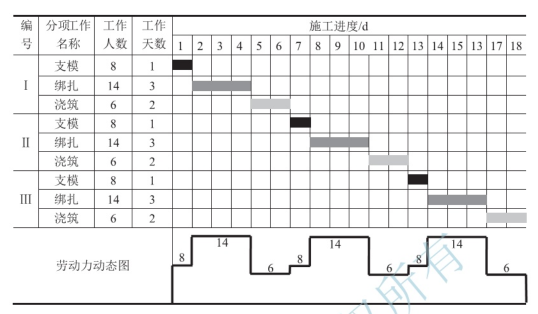
11.1.3 流水施工的效果

下面举例来说明流水施工的效果。

【例 11-1】某框架结构某层的施工，共有支模、钢筋绑扎、浇混凝土 3 个施工过程，由各专业队分别完成，划分成三个施工段。假如每段支模施工过程需要 1d，钢筋绑扎需要 3d，浇混凝土需要 2d，则组织该工程的施工有下述三种生产方式可供选择。

解：1. 依次施工

依次施工是将整个拟建工程分解成若干施工过程，按照施工顺序，前一个施工过程完成后，后一个施工过程才开始施工。这是一种最基本、最原始的施工组织方式。图 11.1 为依次施工水平进度图表。



编号	分项工作名称	工作人数	工作天数	施工进度/d																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	13	17	18
I	支模	8	1																		
	绑扎	14	3																		
	浇筑	6	2																		
II	支模	8	1																		
	绑扎	14	3																		
	浇筑	6	2																		
III	支模	8	1																		
	绑扎	14	3																		
	浇筑	6	2																		
劳动力动态图				8	14			6		8	14			6		8	14			6	

图 11.1　依次施工水平进度图表

依次施工的特点如下。

(1) 不能充分利用工作面，工期长。

(2) 不适合专业化施工，不利于改进施工工艺、提高工程质量、提高工人操作技术水平和劳动生产率。

(3) 如采用专业施工队则不能连续施工，窝工严重或调动频繁。

(4) 单位时间内投入的资源较少。

(5) 施工现场组织、管理简单。

2. 平行施工

平行施工是将几个相同的施工过程，分别组织几个相同的工作队，在同一时间、不同的空间上平行进行施工。图 11.2 为平行施工水平进度表。

编号	分项工作名称	工作人数	工作天数	施工进度 /d																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	13	17	18
I	支模	8	1																		
	绑扎	14	3																		
	浇筑	6	2																		
II	支模	8	1																		
	绑扎	14	3																		
	浇筑	6	2																		
III	支模	8	1																		
	绑扎	14	3																		
	浇筑	6	2																		
劳动力动态图				24	42 2			18													

图 11.2　平行施工水平进度表

平行施工的特点如下。

(1) 充分利用了工作面，缩短了工期。

(2) 适用于综合施工队施工，不利于提高工程质量和劳动生产率。

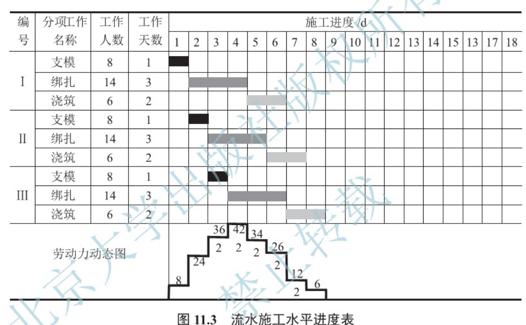
(3) 如采用专业施工队则不能连续施工。

(4) 单位时间内投入的资源成倍增加，现场临时设施也相应增加。

(5) 现场施工组织、管理、协调、调度复杂。

3. 流水施工

流水施工是将拟建工程在竖直方向上划分施工层，在平面上划分施工段，然后按施工工艺的分解组建相应的专业施工队，按施工顺序的先后进行各施工层、施工段的施工。图 11.3 为流水施工水平进度表。



编号	分项工作名称	工作人数	工作天数	施工进度/d
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 13 17 18
I	支模	8	1	
	绑扎	14	3	
	浇筑	6	2	
II	支模	8	1	
	绑扎	14	3	
	浇筑	6	2	
III	支模	8	1	
	绑扎	14	3	
	浇筑	6	2	
劳动力动态图				

图 11.3　流水施工水平进度表

流水施工的特点如下。

(1) 既充分利用工作面，又缩短工期。

(2) 各专业施工队能连续作业，不产生窝工。

(3) 实现专业化生产，有利于提高操作技术、工程质量和劳动效率。

(4) 资源使用均衡，有利于资源供应的组织和管理。

(5) 有利于现场文明施工和科学管理。

流水施工的技术经济效果如下。

(1) 按专业工种建立劳动组织，实行生产专业化，有利于劳动生产率的不断提高。

(2) 科学地安排施工进度，使各施工过程在保证连续施工的条件下最大限度地实现搭接施工，从而减少了因组织不善而造成的停工、窝工损失，合理地利用了施工的时间和空间，有效地缩短了施工工期。

(3) 施工的连续性、均衡性，使劳动消耗、物资供应、机械设备利用等处于相对平稳状态，充分发挥管理水平，降低工程成本。

11.2 流水施工的参数

工程施工进度计划是反映施工时各施工过程按先后顺序、配合关系在时间、空间上的展开情况。常用的施工进度计划有线条图和网络图。

流水施工参数包括工艺参数、空间参数及时间参数。工艺参数包括施工过程数（工序数）n、流水强度 V；空间参数包括施工段数 m；时间参数包括流水节拍 t_i、流水步距 K 及工期 T。

11.2.1 工艺参数

工艺参数是用以表达流水施工在施工工艺上的开展顺序及其特性的参数，包括施工过程数和流水强度。

1. 施工过程数（n）

在组织流水施工时，用以表达流水施工在工艺上开展的有关过程，统称为施工过程。任何一个建筑工程都由许多施工过程所组成。

施工过程可以划分为以下几类。

(1) 专业工程或单位工程。土建、给排水、电器等专业工程，设备安装等单位工程。

(2) 分部工程。地基基础、主体结构、楼面板、屋面、门窗、装饰工程等。

(3) 分项工程。挖土、垫层、支模、扎筋、浇混凝土工程等。

不同的流水施工对象，施工过程有不同的划分方法，一般可按表 11-2 划分。

表 11-2　施工过程划分表

流水施工类别	用　　途	划　　分	举　　例
群体工程流水	控制性进度计划	单位工程	土建 A 栋、B 栋
单位工程流水	实施性进度计划	分部工程	基础、主题、楼地面等
分部工程流水	实施性进度计划	分项工程	钢筋、模板、混凝土
分项工程流水	实施性进度计划	工序	涂料的基层处理、刮腻子、涂刷等

2. 流水强度（V）

在组织流水施工时，某一施工过程在单位时间内所完成的工程量，称为该施工过程的流水强度，或称为流水能力、生产能力，一般用 V 表示。

(1) 机械施工过程的流水强度。可按下式计算：

$$V=\sum_{i=1}^{b}R_iS_i \tag{11-1}$$

式中　V——某施工过程的流水强度；

R_i——第 i 种施工机械台数；

S_i——第 i 种施工机械台班生产率；

b——用于同一施工过程的主导施工机械总数。

(2) 手工操作过程的流水强度按下式计算：

$$V = RS \tag{11-2}$$

式中　V——某施工过程的流水强度；

R——每一工作队工人人数（应小于工作面上允许容纳的最多人数）；

S——每一工人每班产量定额。

【例 11-2】某框架结构某层的施工，共有支模、钢筋绑扎、浇混凝土 3 个施工过程，由各专业队分别完成。划分成三个施工段。假如每段支模施工过程需要 1d，钢筋绑扎需要 3d，浇混凝土需要 2d，已知模板工人每班产量定额 12.5 m^2/ 工日，每段的人数为 8 人，其施工过程的流水强度为多少？

解：$V=RS$=8 人 ×12.5m^2/ 工日 =100（人•m^2/ 工日）

11.2.2　空间参数

空间参数是指在组织流水施工时，用以表达流水施工在空间上开展状态的参数，主要包括工作面、施工段和施工层。

1. 工作面

工作面是指安排专业工人进行操作或者布置机械设备进行施工所需的活动空间。工作面根据专业工种的计划产量定额和安全施工技术规程确定，反映了工人操作、机械运转在空间布置上的具体要求。

在施工作业时，无论是人工还是机械都需有一个最佳的工作面，才能发挥其最佳效率。最小工作面对应安排的施工人数和机械数是最多的。它决定了某个专业队伍的人数及机械数的上限，直接影响到某个工序的作业时间，因而工作面确定是否合理直接关系到作业效率和作业时间。表 11-3 列出了主要专业工种的工作面参考数据。

表 11-3　主要专业工种的工作面参考数据

工作项目	每个技工的工作面	说　　明
砖基础	7.6m/ 人	以 1 砖半计，2 砖乘以 0.8，3 砖乘以 0.5
砌砖墙	8.5m/ 人	以 1 砖半计，2 砖乘以 0.71，3 砖乘以 0.57
砌毛石墙基	3m/ 人	以 60cm 计
砌毛石墙	3.3m/ 人	以 60cm 计
浇筑混凝土柱、墙基础	8m^3/ 人	机拌、机捣
浇筑混凝土设备基础	7m^3/ 人	机拌、机捣
现浇钢筋混凝土柱	2.5m^3/ 人	机拌、机捣
现浇钢筋混凝土梁	3.20m^3/ 人	机拌、机捣
现浇钢筋混凝土墙	5 m^3/ 人	机拌、机捣
现浇钢筋混凝土楼板	5.3m^3/ 人	机拌、机捣

（续）

工作项目	每个技工的工作面	说　　明
预制钢筋混凝土柱	$3.6m^3$/ 人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土梁	$3.6m^3$/ 人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土屋架	$2.7m^3$/ 人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土平板、空心板	$1.91m^3$/ 人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土大型屋面板	$2.62m^3$/ 人	机拌、机捣
浇筑混凝土地坪及面层	$40m^2$/ 人	机拌、机捣
外墙抹灰	$16m^2$/ 人	
内墙抹灰	$18.5m^2$/ 人	
做卷材屋面	$18.5m^2$/ 人	
做防水水泥砂浆屋面	$16m^2$/ 人	
门窗安装	$11m^2$/ 人	

2. 施工段

1）施工段的概念

施工段是指将施工对象在平面上划分为若干个劳动量大致相等的施工区段，这些区段就称为施工段，其数目以 m 表示。每一个施工段在某一时间内只供一个施工过程的工作队使用。

2）划分施工段的原则

划分施工段是为组织流水施工提供必要的空间条件。其作用在于某一施工过程能集中施工力量，迅速完成一个施工段上的工作内容，及早空出工作面为下一施工过程提前施工创造条件，从而保证不同的施工过程能同时在不同的工作面上进行施工。

在同一时间内，一个施工段只容纳一个专业施工队施工，不同的专业施工队在不同的施工段上平行作业，所以，施工段数量的多少，将直接影响流水施工的效果。合理划分施工段，一般应遵循以下原则。

(1) 各施工段的劳动基本相等，以保证流水施工的连续性、均衡性和有节奏性，各施工段劳动量相差不宜超过 10% ～ 15%。

(2) 应满足专业工种对工作面的空间要求，以发挥人工、机械的生产作业效率，因而施工段不宜过多，最理想的情况是平面上的施工段数与施工过程相等。

(3) 有利于结构的整体性，施工段的界限应尽量与结构的变形缝一致。

(4) 当施工对象有层间关系且分层又分段时，划分施工段数尽量满足下式要求：

$$m \geqslant n \tag{11-3}$$

式中　m——施工段数；

n——参加流水施工的施工过程数或作业班组总数。

①当 $m=n$ 时。此时每一施工过程或作业班组既能保证连续施工，又能使所划分的施工段不至空闲，是最理想的情况，有条件时应尽量采用。

②当 $m > n$ 时。此时每一施工过程或作业班组能保证连续施工，但所划分的施工段会出现空闲,这种情况也是允许的。实际施工时有时为满足某些施工过程技术间歇的要求，有意让工作面空闲一段时间反而更趋合理。

③当 $m < n$ 时。此时每一施工过程或作业班组虽能保证连续施工，但施工过程或作业班组不能连续施工而会出现窝工现象，一般情况下应力求避免。但有时当施工对象规模较小，确实不可能划分较多的施工段时，可与同工地或同一部门内的其他相似的工程组织成大流水，以保证施工队伍连续作业，不出现窝工现象。

3. 施工层 (r)

对于多层的建筑物、构筑物，应既分施工段，又分施工层。

施工层是指为组织多层建筑物的竖向流水施工，将建筑物划分为在垂直方向上的若干区段，用 r 来表示施工层的数目。通常以建筑物的结构层作为施工层，有时为方便施工，也可以按一定高度划分一个施工层，如单层工业厂房砌筑工程一般按 1.2 ～ 1.4m（即一步脚手架的高度）划分为一个施工层。

【例 11-3】某框架，施工过程均为支模、钢筋绑扎、浇混凝土 3 个施工过程，由各专业队分别完成。假如各施工过程在施工段上的持续时间均为 3d，以下举例说明施工段数分别为 2、3、4 时的情况。

解：(1) $m = n$=3 时，流水作业水平进度表如图 11.4 所示。

施工层	施工过程	施工进度/d								
		3	6	9	12	15	18	21	24	27
Ⅰ层	支模	1段	2段	3段						
	扎筋		1段	2段	3段					
	浇混凝土			1段	2段	3段				
Ⅱ层	支模				1段	2段	3段			
	扎筋					1段	2段	3段		
	浇混凝土						1段	2段	3段	

图 11.4 $m=n$ 时流水施工开展情况

当 $m = n$ 时，各专业队能连续作业，施工段没有空闲，是理想的流水施工方案。施工段数 m 应不小于施工过程数 n，以满足合理流水施工组织要求。

(2) m(=4) $>$ n(=3) 时，流水作业水平进度表如图 11.5 所示。

施工层	施工过程	施工进度/d									
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Ⅰ层	支模	1段	2段	3段	4段						
	扎筋		1段	2段	3段	4段					
	浇混凝土			1段	2段	3段	4段				
Ⅱ层	支模					1段	2段	3段	4段		
	扎筋						1段	2段	3段	4段	
	浇混凝土							1段	2段	3段	4段

图 11.5 $m > n$ 时流水施工开展情况

当 $m>n$ 时，各专业队能连续作业，但施工段有空闲（图中各施工段在第一层浇完混凝土后均空闲 3d），即工作面有空闲。这种空闲可用于弥补由于工艺间隙、组织间隙和备料等要求的时间。

(3) $m<n$ 时，流水作业水平进度表如图 11.6 所示。

施工层	施工过程	施工进度 /d								
		3	6	9	12	15	18	21	24	27
Ⅰ层	支模	1段	2段							
	扎筋		1段	2段						
	浇混凝土			1段	2段					
Ⅱ层	支模				1段	2段				
	扎筋					1段	2段			
	浇混凝土						1段	2段		

图 11.6　$m<n$ 时流水施工开展情况

当 $m<n$ 时，各专业队不能连续作业（图中各专业队在完成第一层作业、进入第二层作业前均停工 3d），但施工段没有空闲。即专业队因无工作面而停工。

值得指出的是：对于在建筑群中大流水施工时，这种专业流水的停工可以避免；对单栋建筑物的专业流水施工组织则应避免 $m<n$ 的情况出现。

11.2.3　时间参数

1. 流水节拍 (t_i)

流水节拍是指一个施工过程（或作业队伍）在一个施工段上作业的持续时间，用 t 表示，其大小受到投入的劳动力、机械及供应量的影响，也受到施工段大小的影响。

流水节拍的确定方式有两种：一种是根据现有能够投入的资源（劳动力、机械台数、材料量）来确定；另一种是根据工期要求来确定。

(1) 根据资源的实际投入量计算。其计算式如下：

$$t_i=\frac{Q_i}{S_iR_ia}=\frac{Q_iZ_i}{R_ia}=\frac{P_i}{R_ia} \tag{11-4}$$

式中　t_i——流水节拍；

Q_i——施工过程在一个施工段上的工程量；

S_i——完成该施工过程的产量定额；

Z_i——完成该施工过程的时间定额；

R_i——参与该施工过程的工人数或施工机械台数；

P_i——该施工过程在一个施工段上的劳动量；

a——每天工作班次。

【例 11-4】某框架结构某层的施工，共有支模、钢筋绑扎、浇混凝土 3 个施工过程，由各专业队分别完成，划分成三个施工段。假如每段支模施工过程需要 1d，钢筋绑扎需要 3d，浇混凝土需要 2d，已知某层模板工程量为 300m^2，工程的工人每班产量定额为 12.5 m^2/ 工日，每段的人数为 8 人，采用一班制施工。其施工过程的流水节拍为多少？

解：每一段的模板工程量为：

$$300/3=100(\mathrm{m}^2)$$

该模板施工过程在某段的流水节拍为：

$$t=100/(12.5\times8\times1)=1(\mathrm{d})$$

(2) 根据施工工期确定流水节拍。流水节拍的大小对工期有直接影响，通常在施工段数不变的情况下，流水节拍越小，工期就越短。当施工工期受到限制时，就应从工期要求反求流水节拍，然后用式 (11-4) 求得所需的人数或机械数，同时检查最小工作面是否满足要求及人工机械供应的可行性。若检查发现按某一流水节拍计算的人工数或机械数不能满足要求，则可采取延长工期的措施，从而增大流水节拍以减少人工、机械的需求量，以满足实际的资源限制条件。若工期不能延长则可增加资源供应量或采取一天多班次（最多三次）作业以满足要求。

2. 流水步距 (k)

指相邻两施工过程（或作业队伍）先后投入流水施工的时间间隔，一般用 k 表示。

流水步距应根据施工工艺、流水形式和施工条件来确定，在确定流水步距时应尽量满足以下要求。

(1) 始终保持两施工过程间的顺序施工，即在一个施工段上，前一施工过程完成后，下一施工过程方能开始。

(2) 任何作业班组在各施工段上必须保持连续施工。

(3) 前后两施工过程的施工作业应能最大限度地组织平行施工。

3. 间歇时间

1) 技术间歇时间 (t_g)

在流水施工中，除了考虑两相邻施工过程间的正常流水步距外，有时应根据施工工艺的要求考虑工艺间合理的技术间歇时间 (t_g)。如混凝土浇筑完成后应养护一段时间后才能进行下一道工艺，这段养护时间即为技术间歇，它的存在会使工期延长。

2) 组织间歇时间 (t_z)

组织间歇时间 (t_z) 是指施工中由于考虑施工组织的要求，两相邻的施工过程在规定的流水步距以外增加必要的时间间隔，以便施工人员对前一施工过程进行检查验收，并为后续施工过程作出必要的技术准备工作等。如基础混凝土浇筑并养护后，施工人员必须进行主体结构轴线位置的弹线等。

4. 组织搭接时间 (t_d)

组织搭接时间 (t_d) 是指施工中由于考虑组织措施等原因，在可能的情况下，后续施工过程在规定的流水步距以内提前进入该施工段进行施工，这样工期可进一步缩短，施工更趋合理。

5. 流水工期 (T)

流水工期 (T) 是指一个流水施工中，从第一个施工过程（或作业班组）开始进入流水施工，到最后一个施工过程（或作业班组）施工结束所需的全部时间。

11.3 流水施工分类

11.3.1 按流水施工对象的范围分类

按流水施工对象的范围分类，可分为分项工程流水施工、分部工程流水施工、单位工程流水施工和群体工程流水施工四大类。

1. 分项工程流水施工

也称细部流水施工，是指一个专业工作队伍使用相同的施工机具，依次连续不断地在各施工段中完成同一施工过程的工作。

2. 分部工程流水施工

也称专业流水或称工艺组合流水，是一个分部工程所含的各分项工程流水组合应用。

3. 单位工程流水施工

也称综合流水施工，是将一个单位工程所含的各分部工程按施工工艺顺序有机地组合，共同完成该单位工程的施工任务。

4. 群体工程流水施工

也称大流水施工。是在若干个单位工程之间组织的全场性的流水施工。

11.3.2 按流水节奏的特征分类

按流水节奏的特征分类，可分为有节奏流水和无节奏流水两类。

1. 有节奏流水

有节奏流水分为等节奏流水和异节奏流水。

(1) 等节奏流水：指流水组中每一个施工过程在各个施工段上的流水节拍相同，为一常数，且各个施工过程相互之间的流水节拍也相等。

(2) 异节奏流水：指流水组中每一个施工过程在个各施工段上的流水节拍相同，但各个施工过程相互之间的流水节拍不一定相等。

2. 无节奏流水

是指流水组中各施工过程在各个施工段上的流水节拍不完全相等，相互之间也无规律可循。

11.3.3 流水施工的组织方法

根据工程特点和流水参数的不同，一般专业流水施工组织分为固定节拍流水、成倍节拍流水和分别流水三种。其中固定节拍流水、成倍节拍流水为有节奏流水，分别流水

为无节奏流水。

1. 固定节拍（等节拍）流水

俗称“等节拍流水”，是一种有规律的施工组织形式，所有施工过程在各施工段的流水节拍相等，且流水节拍t_i等于流水步距k，即$t_i = k =$常数。

为缩短工期，前后两个相邻的施工过程应在施工开始时间上做到最大搭接，这种搭接常会受到必要的时间间隙的限制。

固定节拍流水又可分为无间隙和有间隙的专业流水。其步骤如下。

(1) 确定施工起点流向，划分施工段。

(2) 分解施工过程，确定施工顺序。

(3) 确定流水节拍，此时$t_i = t$。

(4) 确定流水步距，此时$K = t$。

(5) 按下式计算确定总工期T：

$$T = \sum K + t_n + \sum Z \tag{11-5}$$

式中 T——流水工期；

$\sum K$——参加流水的各施工过程（或作业班组）流水步距之和，且$\sum K = (n-1) \times k$；

t_n——最后一个施工过程作业持续时间，$t_n = mt$；

$\sum Z$——间歇时间的总和。

(6) 绘制流水施工指示图表。

【例 11-5】某一土木工程项目主体结构的施工包含三个施工过程，分为四个施工段，施工过程均为支模、钢筋绑扎和浇混凝土，由各专业队分别完成。已知流水节拍$t_i = 2$。试分两种情况来组织流水：①所有$Z_i = C_i = 0$；②$Z_{32} = 1$，$C_i = 0$。

解：1）水平图表

(1) 当$Z_i = C_i = 0$时，如图 11.7 所示。

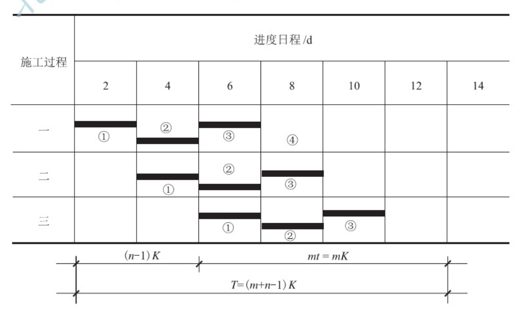


图 11.7 固定节拍流水水平表

(2) 当 $Z_{32}=1$、$C_i=0$ 时，如图 11.8 所示。

施工过程	进度日程 /d						
	2	4	6	8	10	12	14
一	①	②	③				
二		①	②	③			
三			①	① ②	② ③	③	

$(n-1)K$　Z_{32}　$mt=mK$

$T=(m+n-1)K$

图 11.8　有技术间歇时间的固定节拍流水水平表

2) 垂直图表

(1) 当 $Z_i=C_i=0$ 时，如图 11.9 所示。

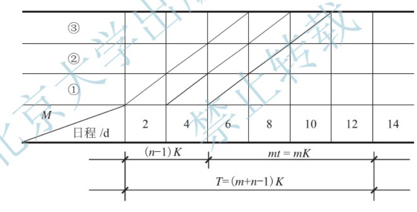


图 11.9　固定节拍流水垂直图表

(2) 当 $Z_{32}=1$、$C_i=0$ 时，如图 11.10 所示。

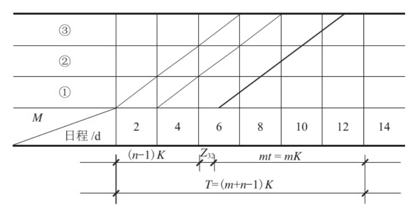


图 11.10　有技术间歇时间的固定节拍流水水平表

3）对流速图的分析

流速图是一种施工进度计划表示的方式，通过流速图中流线形状，可以反映流水组织的基本情况。

(1) 流线越陡，即斜率越大，说明流水节拍越小，流速越快。

(2) 各流线的斜率均相等，说明所有的施工过程的流水节拍也都相等。

(3) 若各流速的间距都相等，说明无间歇时间，流水步距都相等；若各流线的间距不相等，说明有间歇时间或搭接时间。

2. 成倍节拍（异节拍）流水

在实际施工组织中，由于工作面的不同或劳动力数量的不等，各施工过程的流水节拍（持续时间）完全相等是少见的。这时应使同一施工过程的流水节拍相等，不同施工过程的流水节拍互成倍数，称为“成倍节拍流水”或“异节拍流水”。

1）一般成倍流水节拍

一般成倍流水节拍是最常见的有节奏的流水施工组织形式，应用较多，是在保证各施工队连续施工的前提下，确定适当的流水步距，然后安排各施工过程的流水作业。

一般成倍节拍流水方案的建立步骤如下。

(1) 流水步距 K_i 的确定。

当 $t_i \leqslant t_{i+1}$ 时，$K_{i,\ i+1}=t_i$

当 $t_i > t_{i+1}$ 时，$K_{i,\ i+1}=mt_i-(m-1)t_{i+1}$

式中 t_i——第 i 个施工过程的流水节拍；

t_{i+1}——第 i+1 个施工过程的流水节拍；

$K_{i,\ i+1}$——第 i 和第 i+1 个施工过程之间的流水步距。

(2) 一般成倍流水节拍的工期。

$$T=\sum K+t_n+\sum Z$$

式中 $\sum Z$——间歇时间的总和；

t_n——第 n 个施工过程流水节拍的总和。

2）加快成倍流水节拍

(1) 确定施工起点流向，划分施工段。

(2) 分解施工过程，确定施工顺序。

(3) 按最大公约数确定每个施工过程的流水节拍 t_i。

(4) 确定流水步距 K，即各施工过程流水节拍 t_i 的最大公约数 K。

(5) 按下式确定专业队数目：

某施工过程的专业队数 $b=t_i/K$，

专业流水的专业队数总和 $n=\sum b$。

(6) 按下式计算确定总工期 T：

$$T=\left(m+\sum b_i-1\right)\times K \tag{11-6}$$

(7) 绘制流水施工指示图表。

【**例 11-6**】某栋框架结构的施工，某层共有支模、钢筋绑扎、浇混凝土 3 个施工过程，分为 3 个施工段，各施工过程的流水节拍分别为支模 1d、钢筋绑扎 3d、浇混凝土 2d，试组成一般成倍节拍专业流水，画出流水施工进度表和计算总工期。

解：根据题意，$n=3$，$m=3$，$t_1=1$，$t_2=3$，$t_3=2$

因为 $t_1 < t_2$，所以取 $K_{1,2}=t_1=1$ (d)

因为 $t_1 > t_3$，所以取 $K_{2,3}=mt_2-(m-1)t_3=3\times3-(3-1)\times2=5$ (d)

(1) 流水施工进度表，如图 11.11 所示。

施工过程	进度日程 /d													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
支模	①	②	③											
钢筋绑扎			①			②			③					
浇混凝土							①		②		③			

图 11.11　一般成倍节拍流水水平表

(2) 总工期。

$$T=\sum K+t_n=1+5+2\times3=12\ (\text{d})$$

【**例 11-7**】某栋框架结构的施工，某层共有支模、钢筋绑扎、浇混凝土 3 个施工过程，分为 3 个施工段，各施工过程的流水节拍分别为支模 1d、钢筋绑扎 3d、浇混凝土 2d，试组成加快成倍节拍专业流水，画出流水施工进度表和计算总工期。

解：由 $t_A=1$，$t_B=3$，$t_C=2$ 可知，各施工过程的流水节拍不完全相等，但有最大公约数 1，故可以组织成倍节拍流水施工。

(1) 求 K。

K= 最大公约数，由已知条件求得最大公约数为 1，即 $K=1$ d。

(2) 求各专业队伍数。

根据公式 $b_i=\dfrac{t_i}{K}$，得

$$b_A=\frac{1}{1}=1\ （个）$$

$$b_B=\frac{3}{1}=3\ （个）$$

$$b_C=\frac{2}{1}=2\ （个）$$

专业队伍总数

$$n'=\sum b_i=1+3+2=6\ （个）$$

(3) 按照有 5 个队伍参与流水，其步距均为 1d 组织施工，其进度如图 11.12 所示。

施工过程		进度日程 /d													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
支模		①	②	③											
钢筋绑扎	甲			①											
	乙				②										
	丙					③									
浇混凝土	甲					①		②							
	乙								③						

图 11.12　加快成倍节拍流水水平表

(4) 求总工期。

$$T=\left(m+\sum b_i-1\right)\times K=(3+6-1)\times 1=8\ \text{(d)}$$

3. 无节奏（分别）流水

实际施工中，大多数施工过程在各施工段上的工程量并不相等，各专业施工队的生产效率也相差悬殊，导致多数流水节拍彼此不相等，难以组织等节拍或异节拍流水施工。

这时只能按施工顺序要求，使相邻两专业队的开工时间最大限度搭接起来，组织各专业队都能连续施工的无节奏流水施工，也称“分别流水”，它是流水施工的普遍形式。

1) 基本特点

(1) 每个施工过程在各个施工段上的流水节拍不尽相等。

(2) 多数情况下，流水步距彼此不相等，且流水步距与流水节拍之间存在函数关系。

(3) 各专业队都能连续施工，个别施工段有空闲。

(4) 专业施工队数等于施工过程数。

2) 建立步骤

(1) 确定施工起点流向，分解施工过程。

(2) 确定施工顺序，划分施工段。

(3) 计算各施工过程在各施工段上的流水节拍 t_i。

(4) 确定相邻两个专业队之间的流水步距 K_i。

(5) 计算流水施工的计划工期 T。

3) 流水步距的计算

无节奏流水的关键是相邻两专业队之间流水步距的计算（步骤中的前三项均同等节拍流水），使每个施工过程既不出现工艺超前，又能紧密衔接，使各专业队都能连续施工。

无节奏流水的工期 T，在没有工艺间隙的情况下由流水步距总和 $\sum K_i$ 与最后一个施工过程的持续时间 t_n 之和组成，即：

$$T=\sum K_i+t_n \tag{11-7}$$

如施工过程有工艺间隙则增加 $\sum Z_1$ 和 $\sum Z_2$。下面以常用的“累加斜减计算法”为例进行介绍。

【例 11-8】某栋框架结构的施工，某层共有支模（A）、钢筋绑扎（B）、浇混凝土（C）3 个施工过程，分为 3 个施工段，各个施工过程在各个施工段的流水节拍见表 11-4，试确定施工方案。

表 11-4　不同施工过程在各个施工段的流水节拍表

工　序	流水节拍 /d		
	①	②	③
A	1	2	2
B	2	3	1
C	2	4	2

解：（1）求各专业工作队的累加数列如下。

A：1，3，5

B：2，5，6

C：2，6，8

（2）错位相减。

A 与 B：

```
      1,   3,   5
 -)        2,   5,   6
————————————————————————
      1,   1,   0,   -6
```

B 与 C：

```
      2,   5,   6,
 -)        2,   6,   8
————————————————————————
      2,   3,   0,   -8
```

（3）求流水步距。

因流水步距等于相减数值中的最大者，所以：

$$K_{AB}=\max\{1，1，0，-6\}=1(d)$$

$$K_{BC}=\max\{2，3，0，-8\}=3(d)$$

（4）绘制出流水施工进度表，如图 11.13 所示。

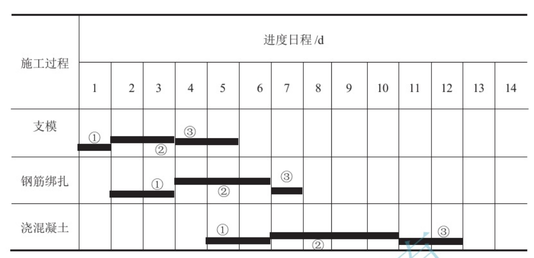


图 11.13 流水施工进度表

(5) 计算流水工期。

流水工期 = 流水步距之和 + 最后一道工序作业时间之和

$$T = \sum K + t_n + \sum Z - \sum C \tag{11-8}$$

式中 $\sum K$——流水步距之和；

t_n——最后一个专业工作队伍在各施工段的流水节拍之和；

$\sum Z$——技术间歇之和（含组织间歇、层间间歇）；

$\sum C$——相邻两个工作队平行搭接时间之和。

$$T = K_{AB} + K_{BC} + t_n = 1 + 3 + 8 = 12\ (d)$$

11.4 流水施工组织实例

11.4.1 工程概况及施工条件

某三层工业厂房，其主体结构为现浇钢筋混凝土框架。框架全部由 6m×6m 的单元构成。横向为 3 个单元，纵向为 21 个单元，划分为 3 个温度区段。

施工工期：2 个半月，施工时平均气温为 15℃。劳动力：木工不得超过 25 人，混凝土与钢筋工可以根据计划要求配备。机械设备：400L 混凝土搅拌机两台，混凝土振捣器、卷扬机可以根据计划要求配备。

11.4.2 施工方案

模板采用定型钢模板，常规支模方法，混凝土为半干硬性，坍落度为 1 ～ 3cm，采用 400L 混凝土搅拌机搅拌，振捣器捣固，双轮车运输；垂直运输采用钢管井架。楼梯部分与框架配合，同时施工。

11.4.3　流水施工组织

1. 计算工程量与劳动量

本工程每层、每个温度区段的模板、钢筋、混凝土的工程量根据施工图计算；所采用定额根据劳动定额手册及本工地工人实际生产率确定，劳动量由确定的时间定额和计算的工程量进行计算。时间定额、计算的工程量和劳动量汇总列表，见表 11-5。

表 11-5　某厂钢筋混凝土框架工程量与劳动量

结构部位	分项工程名称		单位	采用时间定额 /（工日 / 产品单位）	每层、每个温度区段的工程量与劳动量					
					工程量			劳动量 / 工日		
					一层	二层	三层	一层	二层	三层
框架	支模板	柱	m^2	0.0833	332	311	311	27.7	25.9	25.9
		梁	m^2	0.08	698	698	720	55.8	55.8	57.6
		板	m^2	0.04	554	554	528	22.2	22.2	23.3
	绑扎钢筋	柱	t	2.38	5.45	5.15	5.15	13.0	12.3	12.3
		梁	t	2.86	9.80	9.80	10.10	28.0	28.0	28.9
		板	t	4.00	6.40	6.40	6.73	25.6	25.6	26.6
	浇筑混凝土	柱	m^3	1.47	46.1	43.1	43.1	67.8	63.4	63.4
		梁板	m^3	0.78	156.2	156.2	156.2	12.24	122.4	124.0
楼梯	支模板		m^2	0.16	34.8	34.8		5.1	5.1	
	绑扎钢筋		t	5.56	0.45	0.45		2.5	2.5	
	浇筑混凝土		m^3	2.21	6.6	6.6		14.6	14.6	

2. 划分施工过程

本工程框架部分采用以下施工顺序：绑扎柱钢筋→支柱模板→支主梁模板→支次梁模板→支板模板→绑扎梁钢筋→绑扎板钢筋→浇筑混凝土→浇筑梁、板混凝土。

根据施工顺序，按专业工作队的组织进行合并，划分为以下四个施工过程：①绑扎钢筋；②支模板；③绑扎梁、板钢筋；④浇筑混凝土。

各施工过程中均包括楼梯间部分。

3. 划分施工段及确定流水节拍

由于本工程三个温度区段大小一致，各层构造基本相同，各施工过程劳动量相差均在 15% 以内，所以首先考虑采用全等节拍或成倍节拍流水方式来组织（读者可以用其他方案组织）。

1）初步确定施工段及流水节拍

（1）划分施工段。

考虑到有利于结构的整体性，利用温度缝作为分界线，最理想的情况是每层划分为3段。但是，为了保证各工人队组在各层连续施工，按全等节拍组织流水作业，每层最少段数应按下式计算。

$$m = n + \frac{Z + C - \sum t_d}{k}$$

上式中，$n = 4$；$k = t$；$C = 1.5$d（根据气温条件，混凝土强度达12kg/cm^{2}需要36h）；$Z = 0$；$\sum t_d = t$（只考虑绑扎柱钢筋和支模板之间可以搭接施工，其他工序因为要保证施工时不相互干扰，所以不能搭接，取最大搭接时为t）。

代入上述有关数据，得

$$m = 4 + \frac{0 + 1.5 - t}{t} = 3 + \frac{1.5}{t}$$

则

$$m > 3\left(\frac{1.5}{t} > 0\right)$$

所以，每层划分为3个施工段不能保证工人队组在层间连续施工。根据该工程的结构特征，确定每层划分为6个施工段，将每个温度区段分为两段。

（2）确定流水节拍。

第一步根据要求，按固定节拍流水工期公式，粗略地估算流水节拍。

$$t = \frac{T}{n + r_{m-1}} = \frac{60}{4 + 3 \times 6 - 1} = 2.86 \quad (\text{d})$$

上式中，$T = 60$d［规定工期为2个半月，每月按25个工作日计算，工期为62.5个工作日，考虑留有调整余地，因此，该分部工程工期定为60d（工作日）］。取半班的倍数，流水节拍可选用3d或2.5d。

表11-5中各分项工程所对应的每个温度区段的劳动量按施工过程汇总，并将每层每个施工段的劳动量列于表11-6中。

2）资源供应校核

表11-6 各施工过程每段需要劳动量

施工过程	需要劳动量/工日			附 注
	一层	二层	三层	
绑扎柱钢筋	6.5	6.2	6.2	
支模板	55.4	54.5	53.4	包括楼梯
绑扎梁板钢筋	28.1	28.1	27.9	包括楼梯
浇筑混凝土	102.4	100.2	93.7	包括楼梯

从表11-6中看出，浇筑混凝土和支模板两个施工过程用工最大，应着重考虑。

(1) 浇筑混凝土的校核。

根据表 11-5 中工程量的数据，浇筑混凝土量最多的施工段的工程量为 (46.1+156.2+6.6)/2=104.45(m^3)，而每台 400L 混凝土搅拌机搅拌半干硬性混凝土的生产率为 36m^3/ 台班，故需要台班数为：

$$P=\frac{Q}{S}=\frac{104.45}{36}=2.9\ （台班）$$

选用两台混凝土搅拌机，取流水节拍为 2.5d，则实有能力为 5 台班，满足要求。

需要工人人数：表 11-6 中浇筑混凝土需要劳动量最大的施工段的劳动量为 102.4 工日，则每天工人人数为

$$R=\frac{P}{t}=\frac{102.4}{2.5}=40.96\ （人）$$

根据劳动定额知现浇混凝土采用机械搅拌、机械捣固的方式，混凝土工中包括原材料及混凝土运输工人在内，小组人数至少 20 人左右。本方案混凝土工取 40 人，分 2 个小组，可以满足要求。

(2) 支模板的校核。

由表 11-6 中支模板的劳动量计算木工人数，流水节拍仍取 2.5d（框架结构支模板包括柱、梁、板模板，根据经验一般需要 2 ～ 3d）。则支模板的人数为：

$$R=\frac{P}{t}=\frac{55.4}{2.5}=22.2\ （人）$$

由劳动定额知，支模板工作要求工人小组一般为 5 ～ 6 人。本方案木工工作队取 24 人，分 4 个小组进行施工。满足规定的木工人数条件。

(3) 绑扎钢筋校核。

绑扎梁板钢筋的钢筋工人数，由表 11-6 中劳动量计算，流水节拍也取 2.5d，则人数为：

$$R=\frac{P}{t}=\frac{28.1}{2.5}=11.2\ （人）$$

由劳动定额知，绑扎梁板钢筋工作要求工人小组一般为 3 ～ 4 人。本方案钢筋工工作队 12 人，分 3 个小组进行施工。

由表 11-6 知绑扎柱钢筋所需劳动量为 6.5 个工日，但是由劳动定额知，绑扎柱钢筋工作要求工人小组至少需要 5 人。若流水节拍仍取 2.5d，则每班只需 2.6 人，无法完成绑扎柱钢筋工作。若每天工人人数取 5 人，则实际需要的时间为

$$R=\frac{P}{t}=\frac{6.5}{5}=1.3\ (\mathrm{d})$$

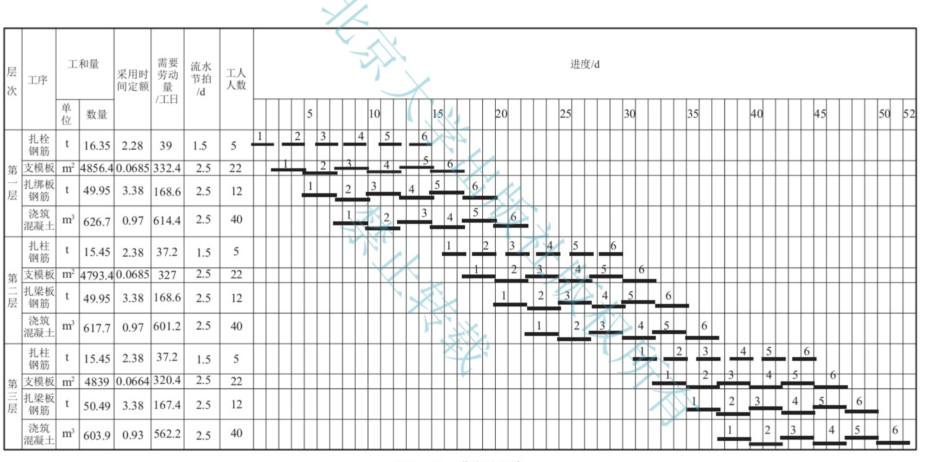
取绑扎柱钢筋流水节拍为 1.5d。显然，此方案已不是全等节拍流水。在实际设计中，个别施工过程不满足是常见的，在这种情况下，技术人员应该根据实际情况进行调整。

3) 工作面校核

本工程各施工过程的工人队组在施工段上无过分拥挤情况，校核从略。

4) 绘制进度计划表

进度计划表如图 11.14 所示。



层次	工序	工程量 单位	工程量 数量	采用时间定额	需要劳动量/工日	流水节拍/d	工人人数
第一层	扎栓钢筋	t	16.35	2.28	39	1.5	5
	支模板	m^2	4856.4	0.0685	332.4	2.5	22
	扎绑板钢筋	t	49.95	3.38	168.6	2.5	12
	浇筑混凝土	m^3	626.7	0.97	614.4	2.5	40
第二层	扎柱钢筋	t	15.45	2.38	37.2	1.5	5
	支模板	m^2	4793.4	0.0685	327	2.5	22
	扎梁板钢筋	t	49.95	3.38	168.6	2.5	12
	浇筑混凝土	m^3	617.7	0.97	601.2	2.5	40
第三层	扎柱钢筋	t	15.45	2.38	37.2	1.5	5
	支模板	m^2	4839	0.0664	320.4	2.5	22
	扎梁板钢筋	t	50.49	3.38	167.4	2.5	12
	浇筑混凝土	m^3	603.9	0.93	562.2	2.5	40

图 11.14 进度计划表

本章小结

通过本章的学习，了解流水施工是一种比较科学的组织方式，它突出之处在于能够保证施工的连续、均衡、有节奏，在工程施工组织中应用很广泛。所以应该重点掌握流水施工组织的基本原理和方法，掌握流水施工基本参数的确定方法，了解三种施工组织方式的使用条件。能够根据工程实际情况编制流水进度表。

习　题

一、简答题

1. 什么是依次施工、平行施工和流水施工?
2. 简述流水施工的概念。
3. 说明流水施工的特点。
4. 说明流水参数的概念和种类。
5. 试述划分施工段的目的和原则。
6. 施工段数与施工过程数的关系是怎样的?
7. 简述工艺参数的概念和种类。
8. 简述空间参数的概念和种类。
9. 简述时间参数的概念和种类。
10. 流水施工按节奏特征不同可分为哪几种方式? 各有什么特点?
11. 试说明成倍节拍流水的概念和建立步骤。

二、选择题

1. 施工段的划分一般应该遵循除下列（　）其他原则。(2013 年二级建造师考试真题)

   A. 要尽可能考虑工程的结构特征

   B. 各工作段的工作量尽可能相等

   C. 要不大于最小工作面

   D. 用在施工段上的持续时间最好是工作日的倍数

2. 关于横道图进度计划表的说法，正确的是（　）。(2014 年二级建造师考试真题)

   A. 可以将工作简要说明直接放到横道图上

   B. 计划调整比较方便

   C. 可以直观地确定计划的关键线路

   D. 工作逻辑关系易于表达清楚

3. 组织无节奏流水的关键是正确计算（　）。

   A. 流水步距　　B. 工期　　C. 流水节拍　　D. 间歇时间

4. 流水步距的数目取决于（　）。

   A. 总的施工工程数　　B. 参与流水的施工工程数

   C. 施工段数　　D. 流水节拍

5. 以下关于“流水节拍”的概念，叙述正确的是（　　）。

A. 一个专业队的作业时间　　B. 一个施工段的持续时间

C. 一个专业队在某施工段上的作业时间　　D. 一个专业队的流水时间

三、计算题

1. 某工程由三个施工过程组成；它划分为 6 个施工段，各分项工程在各施工段上的流水节拍依次为 6d、4d 和 2d。为加快流水施工速度，试编制工期最短的流水施工方案。

2. 某土方工程施工，工程量为 352.94m^3，分三个施工段，采用人工开挖，每段的工程量相等，每班工人数为 15 人，一个工作班次挖土，已知劳动定额为 0.51 工日 /m^3，试求该土方施工的流水节拍。

3. 某工程的流水施工参数为：m=6，n=4，D_i 见表 11-7。试组织流水施工方案。

表 11-7　某工程在各个施工段的流水节拍表

施工过程编号	流水节拍 /d					
	①	②	③	④	⑤	⑥
Ⅰ	4	3	2	3	2	3
Ⅱ	2	4	3	2	3	4
Ⅲ	3	3	2	2	3	3

4. 某工程由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个施工过程组成；它划分为 6 个施工段；各个施工过程在各个施工段上的持续时间都是 4d；施工过程Ⅱ完成后，它的相应施工段至少应有技术间歇 2d。试编制尽可能多的流水施工方案。计算总工期，并画出水平图表。

5. 某工程由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个施工过程组成；现划分为 6 个施工段；其流水节拍见表 11-8；要求施工过程Ⅱ与Ⅲ之间有技术间歇 3d，试编制流水施工方案。

表 11-8　某工程在各个施工段的流水节拍表

施工段编号	流水节拍 /d			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
①	2	3	2	4
②	3	2	3	2
③	4	2	2	4
④	2	3	1	2
⑤	3	2	2	3
⑥	2	1	2	1

6. 某住宅小区共有 6 幢同类型的住宅楼基础工程施工，其基础施工划分为挖基槽、做垫层、砌筑砖基础、回填土四个施工过程，它们的作业时间分别为：D_1=4d，D_2=2d，D_3=4d，D_4=2d。试组织这 6 幢住宅楼基础工程的流水施工。

第 12 章

网络计划技术

本章教学要点

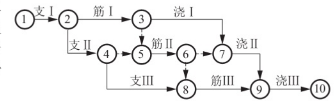
知识模块	掌握程度	知识要点
双代号网络计划	重点掌握	双代号网络计划绘制以及相关参数的计算、时标网络计划
单代号网络计划	了解	单代号网络计划的绘制以及相关参数的计算
网络计划的优化	掌握	工期优化、资源优化、费用优化
网络计划的控制	了解	网络计划执行情况的检查方法、结论分析、调整方法
网络计划在施工中的应用	了解	工期索赔、工期费用综合索赔

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
双代号网络计划绘制以及相关参数的计算	重点掌握	根据绘制的双代号网络计划计算相关的参数，将工程计划进行优化，更加经济合理地施工
时标网络计划的绘制	掌握	绘制时标网络图，更加清晰明了地知道时间参数之间的关系

案例导航

右图所示网络图是工程中常用的某层框架施工网络计划图。应用网络技术编制土木工程施工进度计划，能正确表达框架主体施工中各个施工流程开展的先后顺序及相互关系；能确定各项工作的开始时间和结束时间，并找出关键工作和关键线路。



本章问题讨论

1. 网络计划与横道图的关系与区别是什么？
2. 网络图的关键工作和关键路线如何确定？
3. 网络图如何进行进度、资源、成本的有效控制和调整？

12.1 双代号网络计划

12.1.1 基本概念

双代号网络图是应用较普遍的一种网络计划形式，是以有向箭线及两端带编号的节点表示工作的网络图。

1. 工作

工作是指计划任务按需要划分而成、消耗时间或同时也消耗资源的一个子项目或子任务。根据计划编制的粗细不同，工作既可以是一个建设项目、一个单项工程，也可以是一个分项工程乃至一个工序。

在双代号网络图中，一项工作由一条箭线与其两端的节点表示，箭尾表示工作的开始，箭头表示工作的结束。如图 12.1 所示，在无时间坐标的网络图中，箭线的长度不代表时间的长短，箭线可以画成直线、折线或斜线，工作名称或代号写在箭线上方，完成该工作的持续时间写在箭线的下方。由于是由两个号表示一项工作，故称为双代号表示法。双代号网络计划在工程中应用最广泛。

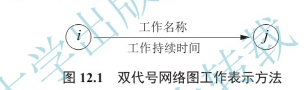


图 12.1　双代号网络图工作表示方法

工作可以分为三种：需要消耗时间和资源的工作（如混凝土浇筑，既需要消耗时间，也需要消耗混凝土、劳动力等）；只消耗时间而不消耗资源的工作（如混凝土养护、抹灰面干燥等）；既不消耗时间，也不消耗资源的工作。前两种是实际存在的工作，后一种是人为的虚设工作，只表示相邻前后工作之间的逻辑关系，通常称其为“虚工作”，以虚箭线表示，如图 12.2 所示。

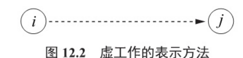


图 12.2　虚工作的表示方法

如图 12.3 所示，由双代号表示法构成的网络图称为双代号网络图。

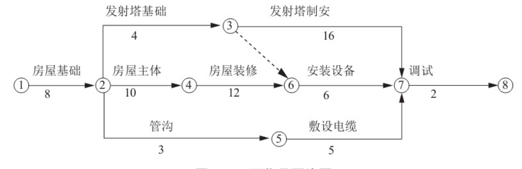


图 12.3　双代号网络图

2. 节点

节点也称事件，是指表示工作开始、结束或连接关系的圆圈；节点用圆圈表示，圆圈中编整数编号，如图 12.3 中的①、②…。箭线的出发节点叫开始节点（箭尾节点），箭头指向的节点叫结束节点（箭头节点）。任何工作都可用其箭线前后的两个节点的编码来表示。

根据节点在网络图中的位置不同可以分为起点节点、中间节点和终点节点。起点节点是网络图的第一个节点，表示一项任务的开始，双代号网络图中，起始节点没有指向该节点的内向箭线；终点节点是网络图的最后一个节点，表示一项任务的完成，终点节点没有从该节点出发的外向箭线；除起点节点和终点节点以外的节点称为中间节点，中间节点具有双重的含义，既是前面工作的结束节点，也是后面工作的开始节点。

3. 线路

网络图中从起点节点开始，沿箭头方向顺序通过一系列箭线与节点，最后到达终点节点的通路称为线路，如图 12.3 所示的网络计划中线路有①→②→③→⑥→⑦→⑧、①→②→④→⑥→⑦→⑧、①→②→③→⑦→⑧、①→②→⑤→⑦→⑧共 4 条线路。

一条线路上的各项工作所持续时间的累加之和称为该线路的持续时间，它表示完成该线路上的所有工作需花费的时间。

持续时间最长的线路可作为工程的计划工期，该线路上的工作拖延或提前，则整个工程的完成时间将发生变化，该线路称为关键线路。

非关键线路上既有关键工作，也有非关键工作，非关键工作有一定的机动时间，该工作在一定幅度内的提前或拖延不会影响整个计划的工期。

12.1.2 双代号网络图的绘制

1. 逻辑关系

各工作间的逻辑关系包括工艺关系、组织关系。逻辑关系表达得是否正确，是网络图能否反映工程实际情况的关键，一旦逻辑关系搞错，图中各项工作参数的计算及关键线路和工程工期都将随之发生错误。

(1) 工艺关系：是指生产工艺上客观存在的先后顺序。例如，建筑工程施工时，先做基础，后做主体；先做结构，后做装修。这些顺序是不能随意改变的。

(2) 组织关系：是在不违反工艺关系的前提下，人为安排工作的先后顺序。网络图中逻辑关系确定了工作的先后关系，工作的先后关系有紧前工作、紧后工作、平行工作等。如建筑群中各建筑物开工的先后顺序，施工对象的分段流水作业等。这些顺序可以根据具体情况，按安全、经济、高效的原则统筹安排。无论工艺关系还是组织关系，在网络图中均表现为工作进行的先后顺序。

2. 绘图规则

(1) 必须正确表达已定的逻辑关系（绘制网络图中常见的逻辑关系及其表达方式见表 12-1)。

表 12-1 绘制网络图中常见的逻辑关系及其表达方式

序 号	工作之间的逻辑关系	网络图中的表示方法	说 明
1	A 工作完成后进行 B 工作		A 工作制约着 B 工作的开始，B 工作依赖 A 工作
2	A、B、C 三项工作同时开始		A、B、C 三项工作称为平行工作
3	A、B、C 三项工作同时结束		A、B、C 三项工作称为平行工作
4	有 A、B、C 三项工作。只有 A 完成后 B、C 才能开始		A 工作制约着 A、B 工作的开始，B、C 为平行工作
5	有 A、B、C 三项工作。C 工作只有在 A、B 完成之后才能开始		C 工作依赖 A、B 工作，A、B 为平行工作
6	有 A、B、C、D 四项工作。只有 A、B 完成后 C、D 才能开始		通过中间节点 i 正确表达了 A、B、C、D 工作之间的关系
7	有 A、B、C、D 四项工作。A 完成后 C 才能开始，A、B 完成后 D 才能开始		D 与 A 之间引入了逻辑连接（虚工作），从而正确表达了它们之间的制约关系
8	有 A、B、C、D、E 五项工作。A、B 完成后 C 才能开始，B、D 完成后 E 才能开始		虚工作 i—j 反映出 C 工作受到 B 工作的制约；虚工作 i—k 反映出 E 工作受到 B 工作的制约
9	有 A、B、C、D、E 五项工作。A、B、C 完成后 D 才能开始，B、C 完成后 E 才能开始		虚工作反映出 D 工作受到 B、C 工作的制约

（续）

序　号	工作之间的逻辑关系	网络图中的表示方法	说　　明
10	A、B 两个工作分三个施工段，平行施工	A A A B B B	每个工种工程建立专业工作队，在每个施工段上进行流水作业，虚工作表达了工种间的工作面关系

(2) 网络图严禁出现循环回路。如图 12.4 所示，②→③→⑤→④→②为循环回路。如果出现循环回路，会造成逻辑关系混乱。

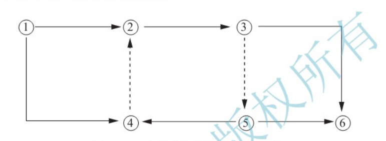


图 12.4　有循环回路的错误网络

(3) 网络图严禁出现双向箭头或无向箭头的连线，如图 12.5 所示。

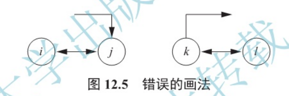


图 12.5　错误的画法

(4) 网络图严禁出现没有箭头或箭尾节点的箭线，如图 12.5 所示。

(5) 双代号网络图中，一项工作只能有唯一的一条箭线和相应的一对节点编号，箭尾节点的编号应小于箭头节点的编号；不允许出现代号相同的箭线。图 12.6(a) 是错误的画法，①→②工作既代表 A 工作，又代表 B 工作；为了区分 A 工作和 B 工作，采用虚工作，分别表示 A 工作和 B 工作，图 12.6(b) 是正确的画法。

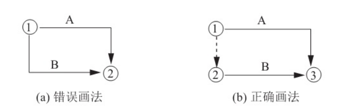
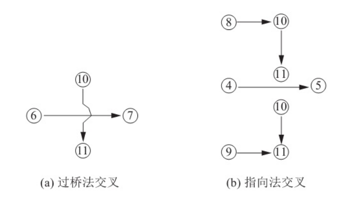


图 12.6　虚工作的断开作用

(6) 网络图中，只允许有一个起点节点和一个终点节点。

(7) 一条箭线上箭尾节点编号小于箭头节点编号。

(8) 在绘制网络图时，应尽可能地避免箭线交叉；如不可能避免时，应采用过桥法或指向法，如图 12.7 所示。



(a) 过桥法交叉　　(b) 指向法交叉

图 12.7　过桥法交叉与指向法交叉

(9) 双代号网络图中的某些节点有多条外向箭线或多条内向箭线时，为使图面清楚，可采用母线法，如图 12.8 所示。

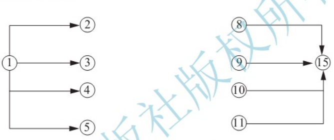


图 12.8　母线法表示

双代号网络图绘制步骤包括：编制各工作之间的逻辑关系表；按逻辑关系表连接各工作之间的箭线，绘制网络图的草图；整理成正式网络图，注意布局条理清楚，重点突出。

3. 绘图步骤

双代号网络图的绘制方法，视个人的经验而不同，但从根本上说，都要在既定施工方案的基础上，根据具体的施工客观条件，以统筹安排为原则。绘图步骤如下。

(1) 任务分解，划分工程项目的各项施工工作。

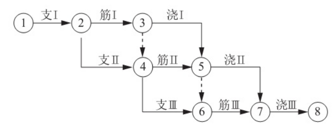
(2) 确定每一工作的持续时间。

(3) 确定各项施工工作之间的先后顺序及逻辑关系。

(4) 根据逻辑关系表绘制网络图。

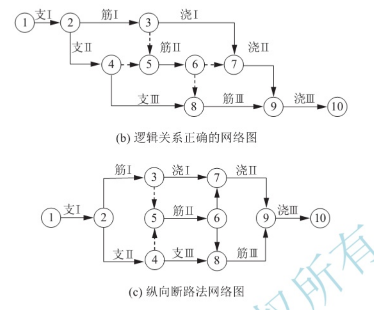
(5) 检查、修改与调整网络图。

4. 土建工程中网络图的绘制（图 12.9）



(a) 逻辑关系错误的网络图

图 12.9　土建工程中网络图绘制方法



(b) 逻辑关系正确的网络图

(c) 纵向断路法网络图

图 12.9　土建工程中网络图绘制方法（续）

12.1.3　双代号网络计划时间参数计算

网络计划时间参数计算的目的在于通过计算各项工作和各节点的时间参数，确定网络计划的关键工作和关键线路；确定计算工期；确定非关键线路和非关键工作及其机动时间（时差），为网络计划的优化、调整和执行提供明确的时间参数。

网络计划时间参数计算方法一般常用的有分析计算法、图上计算法、表上计算法、矩阵计算法和电算法，其计算原理完全相同，只是表达形式不同。本节只叙述图上计算法。

图上计算法有工作计算法、节点计算法、标号法等。

1. 工作计算法

1）网络计划的时间参数

（1）工作最早可能开始时间：在紧前工作全部完成后，工作有可能开始的最早时刻。

（2）工作最早可能完成时间：在紧前工作全部完成后，工作有可能完成的最早时刻。

（3）工作最迟必须开始时间：在不影响任务按期完成或要求的条件下，工作最迟必须开始的时刻。

（4）工作最迟必须结束时间：在不影响任务按期完成或要求的条件下，工作最迟必须完成的时刻。

（5）总时差：在不影响紧后工作最迟开始时间所具有的机动时间，或不影响工期前提下的机动时间。

（6）自由时差：在不影响紧后工作最早开始时间的前提下工作所具有的机动时间。

（7）工期：完成一项任务所需要的时间，在网络计划中工期一般有以下三种。

①计算工期：是根据网络计划计算而得的工期，用 T_c 表示。

②要求工期：是根据上级主管部门或建设单位的要求而定的工期，用 T_r 表示。

③计划工期：是根据要求工期和计算工期所确定的作为实施目标的工期，用 T_p 表示。

2）时间参数的内容

时间参数的内容如图 12.10 所示。



图 12.10　时间参数的内容

如图 12.11 所示，反映 $i—j$ 工作的时间参数。

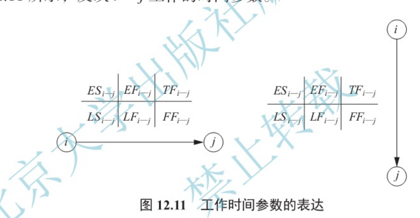


图 12.11　工作时间参数的表达

3）工作持续时间的计算

工作持续时间的计算如第 11 章所述，通常用劳动定额（产量定额或时间定额）计算。当工作持续时间不能用定额计算时，可采用“三时估算”的方法，其计算公式是：

$$D_{i-j}=\frac{a+4b+c}{6} \tag{12-1}$$

式中　D_{i-j} ——$i—j$ 工作持续时间；

a ——工作的乐观（最短）持续时间估计值；

b ——工作的最可能持续时间估计值；

c ——工作的悲观（最长）持续时间估计值。

虚工作必须视同工作进行时间参数计算，其持续时间为零。

4）工作最早时间及工期的计算

(1) 工作最早开始时间的计算：工作最早开始时间指各紧前工作全部完成后，本工作有可能开始的最早时刻。工作最早时间应从网络计划的起点节点开始，顺着箭线方向依次逐项计算。工作 $i—j$ 的最早开始时间 ES_{i-j} 的计算步骤如下。

①以起点节点（i=1）为开始节点的工作的最早开始时间如无规定时，其值为零，即

$$ES_{1-j}=0 \tag{12-2}$$

②当工作 i—j 只有一项紧前工作 h—j 时，其最早开始时间 ES_{i-j} 应为

$$ES_{1-j}=ES_{h-i}+D_{h-i} \tag{12-3}$$

③当工作 i—j 有多个紧前工作时，其最早开始时间 ES_{i-j} 应为

$$ES_{1-j}=\max\{ES_{h-i}+D_{h-i}\} \tag{12-4}$$

（2）工作最早完成时间的计算：工作最早完成时间指各紧前工作完成后，本工作可能完成的最早时刻。工作 i—j 的最早完成时间 EF_{i-j} 应按下式进行计算：

$$EF_{i-j}=ES_{i-j}+D_{i-j} \tag{12-5}$$

（3）网络计划的计算工期与计划工期。

①网络计划计算工期（T_c）指根据时间参数得到的工期，应按下式计算：

$$T_c=\max\{EF_{i-n}\} \tag{12-6}$$

式中　EF_{i-n}——以终点节点（$j=n$）为结束节点的工作的最早完成时间。

②网络计划的计划工期（T_p）指按要求工期（如项目责任工期、合同工期）和计算工期确定的作为实施目标的工期。

当已规定了要求工期 T_r 时

$$T_p \leqslant T_r \tag{12-7}$$

当未规定要求工期时

$$T_p=T_c \tag{12-8}$$

计划工期标注在终点节点右侧，并用方框框起来。

现以如图 12.12 所示的网络计划为例进行计算，结果直接标注在此图上。计算过程如下。

$ES_{1-2}=0$　　$EF_{1-2}=ES_{1-2}+D_{1-2}=0+1=1$

$ES_{1-3}=0$　　$EF_{1-3}=ES_{1-3}+D_{1-3}=0+5=5$

$ES_{2-3}=EF_{1-2}=1$　　$EF_{2-3}=ES_{2-3}+D_{2-3}=1+3=4$

$ES_{2-4}=EF_{1-2}=1$　　$EF_{2-4}=ES_{2-4}+D_{2-4}=1+2=3$

$ES_{3-4}=\max\{EF_{1-3},EF_{2-3}\}=\max\{5,4\}=5$　　$EF_{3-4}=ES_{3-4}+D_{3-4}=5+6=11$

$ES_{3-5}=ES_{3-4}=5$　　$EF_{3-5}=ES_{3-5}+D_{3-5}=5+5=10$

$ES_{4-5}=\max\{EF_{2-4},EF_{3-4}\}=\max\{3,11\}=11$　　$EF_{4-5}=ES_{4-5}+D_{4-5}=11+0=11$

$ES_{4-6}=ES_{4-5}=11$　　$EF_{4-6}=ES_{4-6}+D_{4-6}=11+6=17$

$ES_{5-6}=\max\{EF_{3-5},EF_{4-5}\}=\max\{10,11\}=11$　　$EF_{5-6}=ES_{5-6}+D_{5-6}=11+4=15$

因无规定工期，所以

$$T_p=T_c=\max\{EF_{4-6},EF_{5-6}\}=\max\{17,15\}=17$$

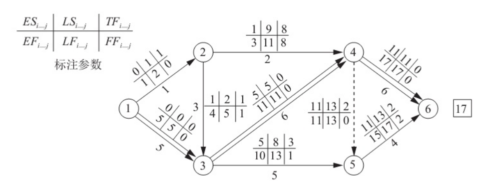


图 12.12　时间参数工作计算法示意图

5）工作最迟时间的计算

（1）工作最迟完成时间的计算。工作最迟完成时间指在不影响整个任务按期完成的前提下，工作必须完成的最迟时刻。工作最迟完成时间应从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向依次逐项计算。工作 $i—j$ 的最迟完成时间 LF_{i-j} 的计算步骤如下。

①以终点节点（ $j=n$ ）为结束节点的工作的最迟完成时间 LF_{i-n}，应按网络计划的计划工期 T_p 确定，即

$$LF_{i-n}=T_p \tag{12-9}$$

②其他工作 $i—j$ 的最迟完成时间 LF_{i-j}，应按下式计算：

$$LF_{i-j}=\min\{LF_{j-k}-D_{j-k}\} \tag{12-10}$$

式中　LF_{j-k}——工作 $i—j$ 的各项紧后工作 $j—k$ 的最迟完成时间。

（2）工作最迟开始时间的计算。工作最迟开始时间指在不影响整个任务按期完成的前提下，工作必须开始的最迟时刻。工作 $i—j$ 的最迟开始时间 LS_{i-j} 应按下式计算：

$$LS_{i-j}=LF_{j-k}-D_{j-k} \tag{12-11}$$

如图 12.12 所示的各项工作必须开始的最迟时间计算如下。

$LF_{5-6}=T_p=17$　　$LS_{5-6}=LF_{5-6}-D_{5-6}=17-4=13$

$LF_{4-6}=T_p=17$　　$LS_{4-6}=LF_{4-6}-D_{4-6}=17-6=11$

$LF_{4-5}=LS_{5-6}=13$　　$LS_{4-5}=LF_{4-5}-D_{4-5}=13-0=13$

$LF_{3-5}=LF_{4-5}=13$　　$LS_{3-5}=LF_{3-5}-D_{3-5}=13-5=8$

$LF_{3-4}=\min\{(LF_{4-5}-D_{4-5}),\ (LF_{4-6}-D_{4-6})\}$

$=\min\{(13-0),\ (17-6)\}=\min(13,11)=11$

$LS_{3-4}=LF_{3-4}-D_{3-4}=11-6=5$

$LF_{2-4}=LF_{3-4}=11$　　$LS_{2-4}=LF_{2-4}-D_{2-4}=11-9=2$

$LF_{2-3}=\min\{(LF_{3-4}-D_{3-4}),\ (LF_{3-5}-D_{3-5})\}$

$=\min\{(11-6),\ (13-5)\}=\min\{5,\ 8\}=5$

$LS_{2-3}=LF_{2-3}-D_{2-3}=5-3=2$

$LF_{1-3}=LF_{2-3}=5$　　$LS_{1-3}=LF_{1-3}-D_{1-3}=5-5=0$

$LF_{1-2}=\min\{(LF_{2-4}-D_{2-4}),\ (LF_{2-3}-D_{2-3})\}$

$=\min\{(11-2),\ (5-3)\}=\min\{9,\ 2\}=2$

$LS_{1-2}=LF_{1-2}-D_{1-2}=2-1=1$

6）工作时差的计算与关键线路的判定

（1）工作总时差的计算。工作总时差指在不影响总工期的前提下，本工作可以利用的机动时间。工作 $i—j$ 的总时差 TF_{i-j} 应按下式计算：

$$TF_{i-j}=LS_{i-j}-ES_{i-j} \tag{12-12}$$

$$TF_{i-j}=LF_{i-j}-EF_{i-j} \tag{12-13}$$

（2）关键线路的判定。总时差为零的工作在计划执行过程中不具备机动时间，这样的工作称为关键工作。由关键工作组成的线路称为关键线路。

判定关键工作的充分条件是 $ES_{i-j}=LS_{i-j}$ 或 $EF_{i-j}=LF_{i-j}$。必须指出，当工期有规定时，总时差最小的工作为关键工作。

（3）工作自由时差的计算。工作自由时差指在不影响其紧后工作最早开始时间的前提下，本工作可以利用的机动时间。工作 $i—j$ 的自由时差 FF_{i-j} 的计算应符合下列规定。

①当工作 $i—j$ 有紧后工作 $j—k$ 时，其自由时差应为：

$$FF_{i-j}=ES_{j-k}-EF_{i-j} \tag{12-14}$$

②以终点节点（$j=n$）为结束节点的工作，其自由时差为：

$$EF_{i-n}=T_p-ES_{i-n} \tag{12-15}$$

如图 12.12 所示的各项工作的时差计算如下：

$TF_{1-2}=LS_{1-2}-ES_{1-2}=1-0=1$ $FF_{1-2}=ES_{2-3}-EF_{1-2}=1-1=0$

$TF_{1-3}=LS_{1-3}-ES_{1-3}=0-0=0$ $FF_{1-3}=ES_{3-4}-EF_{1-3}=5-5=0$

$TF_{2-3}=LS_{2-3}-ES_{2-3}=2-1=1$ $FF_{2-3}=ES_{3-4}-EF_{2-3}=5-4=1$

$TF_{2-4}=LS_{2-4}-ES_{2-4}=9-1=8$ $FF_{2-4}=ES_{4-6}-EF_{2-4}=11-3=8$

$TF_{3-4}=LS_{3-4}-ES_{3-4}=5-5=0$ $FF_{3-4}=ES_{4-6}-EF_{3-4}=11-11=0$

$TF_{3-5}=LS_{3-5}-ES_{3-5}=8-5=3$ $FF_{3-5}=ES_{5-6}-EF_{3-5}=11-10=1$

$TF_{4-5}=LS_{4-5}-ES_{4-5}=13-11=2$ $FF_{4-5}=ES_{5-6}-EF_{4-5}=11-11=0$

$TF_{4-6}=LS_{4-6}-ES_{4-6}=11-11=0$ $EF_{4-6}=T_p-EF_{4-6}=17-17=0$

$TF_{5-6}=LS_{5-6}-ES_{5-6}=13-11=2$ $EF_{5-6}=T_p-EF_{5-6}=17-15=2$

总时差和自由时差之间的关系如图 12.13 所示，总时差与自由时差是相互关联的。动用本工作自由时差不会影响紧后工作的最早开始时间，而在本工作总时差范围内动用机动时间（时差）超过本工作自由时差范围，则会相应减少紧后工作拥有的时差，并会引起该工作所在线路上所有其他非关键工作时差的重新分配。

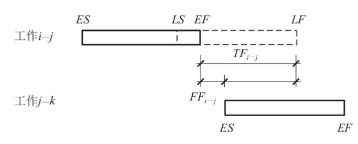


图 12.13 总时差与自由时差的关系

2. 节点计算法

节点计算法先计算网络计划中各个节点的最早时间和最迟时间，然后再据此计算各项工作的时间参数和网络计划的计算工期。

节点最早时间指以该节点为开始节点的各项工作的最早开始时间。节点最早时间从网络计划的起点节点开始，顺着箭线方向依次逐个计算。当然，终点节点的最早时间 ET_N 就是网络计划的计算工期。节点 i 的最早时间 ET_i 的计算规定如下。

(1) 起点节点的最早时间如无规定时，其值为零，即

$$ET_1 = 0 \tag{12-16}$$

(2) 当节点 j 只有一条内向箭线时，其最早时间

$$ET_j = ET_i + D_{i-j} \tag{12-17}$$

式中　ET_i——工作 i—j 的开始（箭尾）节点 i 的最早时间。

(3) 当节点 j 有多条内向箭线时，其最早时间

$$ET_j = \max\{ET_i + D_{i-j}\} \tag{12-18}$$

现以如图 12.12 所示的网络图为例进行计算，结果直接标注在图 12.14 上。

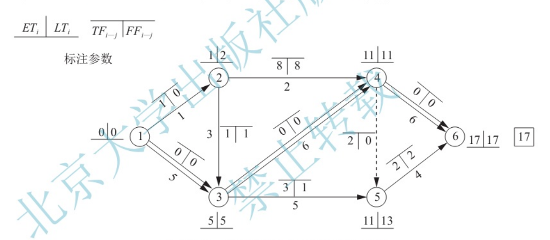


图 12.14　时间参数节点计算法示意图

$ET_1 = 0$

$ET_2 = ET_1 + D_{1-2} = 0 + 1 = 1$

$ET_3 = \max\{ET_1 + D_{1-3},\ ET_2 + D_{2-3}\} = \max\{(0+5),\ (1+3)\} = \max\{5,\ 4\} = 5$

$ET_4 = \max\{ET_2 + D_{2-4},\ ET_3 + D_{3-4}\} = \max\{(1+2),\ (5+6)\} = \max\{3,\ 11\} = 11$

$ET_5 = \max\{ET_3 + D_{3-5},\ ET_4 + D_{4-5}\} = \max\{(5+5),\ (11+0)\} = \max\{10,\ 11\} = 11$

$ET_6 = \max\{ET_4 + D_{4-6},\ ET_5 + D_{5-6}\} = \max\{(11+6),\ (11+4)\} = \max\{17,\ 15\} = 17$

$T_p = T_c = ET_n = 17$

最迟时间、总时差及自由时差的计算与前面双代号计算方法相同，此处不再罗列计算步骤。关键在于掌握节点计算的标注方式。

3. 标号法

标号法是一种可以快速确定计算工期和关键线路的方法，是工程中应用非常广泛的一种方法。它利用节点计算法的基本原理，对网络计划中的每一个节点进行标号，然后利用标号值（节点的最早时间）确定网络计划的计算工期和关键线路。

标号法工作的步骤如下。

(1) 从开始节点出发，顺着箭线用加法计算节点的最早时间，并标明节点时间的计算值及其来源节点号。

(2) 终点节点最早时间值为计算工期。

(3) 从终点节点出发，依源节点号反跟踪到开始节点的线路为关键线路。

12.1.4 时标网络计划

双代号时标网络计划（简称时标网络计划）是以时间坐标为尺度编制的网络计划，该网络计划既具有一般网络计划的优点，又具有横道图计划直观易懂的优点，在网络计划基础上引入横道图，它清晰地把时间参数直观地表达出来，同时表明网络计划中各工作之间的逻辑关系。

1. 绘制要求

(1) 时标网络计划需绘制在带有时间坐标的表格上。

(2) 节点中心必须对准时间坐标的刻度线，以避免误会。

(3) 以实箭线表示工作，以虚箭线表示虚工作，以水平波形线表示自由时差或与紧后工作之间的时间间隔。

(4) 箭线宜采用水平箭线或水平段与垂直段组成的箭线形式，不宜用斜箭线。虚工作必须用垂直虚箭线表示，其自由时差应用水平波形线表示。

(5) 时标网络计划宜按最早时间编制，以保证实施的可靠性。

2. 绘制方法

时标网络计划一般按最早时间编制，其绘制方法有间接绘制法和直接绘制法。

1) 时标网络计划的间接绘制法

所谓间接绘制法，是指先根据无时标的网络计划草图计算其时间参数并确定关键线路，然后在时标网络计划表中进行绘制。在绘制时应先将所有节点按其最早时间定位在时标网络计划表中的相应位置，然后再用规定线型（实箭线和虚箭线）按比例绘出工作和虚工作。当某些工作箭线的长度不足以到达该工作的完成节点时，须用波形线补足，箭头应画在与该工作完成节点的连接处。其具体步骤如下。

(1) 绘制时标计划表。

(2) 计算各项工作的最早开始时间和最早完成时间，如图 12.16 所示。

(3) 将每项工作的箭尾节点按最早开始时间定位在时标计划表上，布局应与不带时标的网络计划基本相当，然后编号。

(4) 用实线绘制出工作持续时间，用虚线绘制无时差的虚工作（垂直方向），用波形

线绘制工作和虚工作的自由时差。

2）时标网络计划的直接绘制法

直接绘制法是不计算网络计划时间参数，直接在时间坐标上进行绘制的方法。其绘制步骤和方法可归为以下绘图口诀：“时间长短坐标限，曲直斜平利相连，画完箭线画节点，节点画完补波线。”具体步骤如下。

(1) 绘制时标计划表。

(2) 将起点节点定位在时标网络图的起始刻度线上，如图 12.16 所示的节点①。

(3) 按工作持续时间在时标网络图上绘制起点节点的外向箭线，如图 12.16 所示的①→②。

(4) 工作的箭头节点，必须在其所有内向箭线绘出以后，定位在这些内向箭线中最晚完成的实箭线箭头处，如图 12.16 中的节点⑤、⑦、⑧、⑨。

(5) 某些内向实箭线长度不足以达到该箭头节点时，用波形线补足，如图 12.16 中的③→⑦、⑦→⑨。如果虚箭线的开始节点和结束节点之间有水平距离时，以波形线补足，如箭线③→⑤、⑥→⑧；如果无水平距离，绘制垂直虚箭线，如④→⑤、⑥→⑦。

(6) 用上述方法，自左向右依次确定其他节点的位置，直至终点节点定位完成，然后编号。在确定节点的位置时，尽量保持无时标网络图的布局不变。

【例 12-1】根据图 12.15 所示的时标网络计划图绘制如图 12.16 所示的时标网络图。

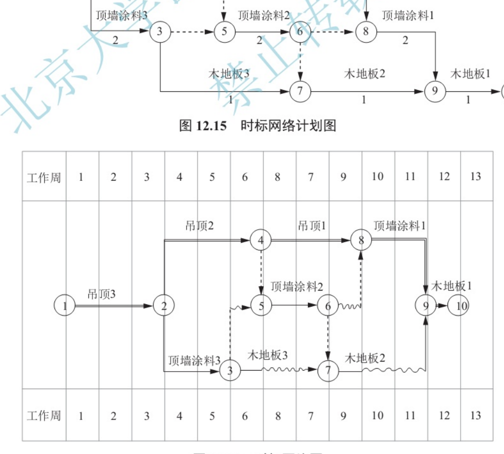


图 12.15　时标网络计划图

图 12.16　时标网络图

12.2 单代号网络计划

12.2.1 单代号网络图

单代号网络图是由一个节点表示一项工作，以箭线表示工作顺序的网络图。单代号网络图的逻辑关系容易表达，且不用虚箭线，便于检查和修改；但不易绘制成时标网络计划，使用不直观。

1. 构成与基本符号

1）节点

节点是单代号网络图的主要符号，用圆圈或方框表示。一个节点代表一项工作或工序，因而它消耗时间和资源。节点所表示工作的名称、持续时间和编号一般都标注在圆圈或方框内，有时甚至将时间参数也标注在节点内，如图 12.17 所示。

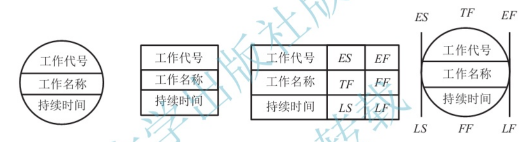


图 12.17　时间参数表示

2）箭线

箭线在单代号网络图中，仅表示工作之间的逻辑关系。它既不占用时间，也不消耗资源。单代号网络图中不用虚箭线。箭线的箭头表示工作的前进方向，箭尾节点表示的工作是箭头节点的紧前工作，如图 12.18 所示。

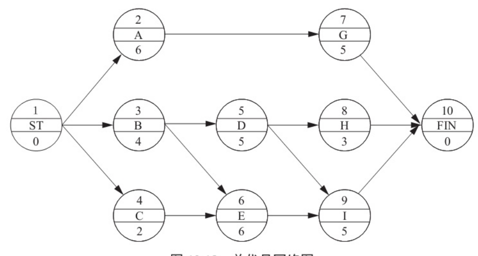


图 12.18　单代号网络图

2. 单代号网络图的绘制

绘制单代号网络图需遵循表 12-2 的规则。

表 12-2 绘制单代号网络图遵循规则

序 号	工作之间的逻辑关系	网络图中的表示方法
1	A 工作完成之后进行 B 工作	A → B
2	B、C 工作完成之后进行 D 工作	B → D; C → D
3	B 工作完成之后，C、D 工作可以同时开始	B → C; B → D
4	A 工作完成之后进行 C 工作，B 工作完成之后可同时进行 C、D 工作	A → C; B → C; B → D
5	A、B 工作均完成后进行 C、D 工作	A → C; A → D; B → C; B → D

12.2.2 单代号网络计划时间参数的计算

1. 单代号网络计划时间参数的计算步骤

单代号网络计划与双代号网络计划只是表现形式不同，它们所表达的内容则完全一样。下面是单代号网络计划时间参数的计算过程。

1) 计算工作的最早开始时间和最早完成时间

工作最早开始时间和最早完成时间的计算应从网络计划的起点节点开始，顺着箭线方向按节点编号从小到大的顺序依次进行。

(1) 网络计划起点节点所代表的工作，其最早开始时间未规定时取值为零，即

$$ES_1 = 0 \tag{12-19}$$

(2) 工作的最早完成时间应等于本工作的最早开始时间与其持续时间之和，即

$$EF_i = ES_i + D_i \tag{12-20}$$

式中 EF_i——工作 i 的最早完成时间；

ES_i——工作 i 的最早开始时间；

D_i——工作 i 的持续时间。

(3) 其他工作的最早开始时间应等于其紧前工作最早完成时间的最大值，即

$$ES_j = \max\{EF_i\} \tag{12-21}$$

式中　ES_j——工作 j 的最早开始时间；

EF_i——工作 j 的紧前工作 i 的最早完成时间。

(4) 网络计划的计算工期等于其终点节点所代表的工作的最早完成时间，即

$$T_c = EF_n \tag{12-22}$$

式中　EF_n——终点节点 n 的最早完成时间。

2) 计算相邻两项工作之间的时间间隔

相邻两项工作之间的时间间隔是指其紧后工作的最早开始时间与本工作最早完成时间的差值，即

$$LAG_{i-j} = ES_j - EF_i \tag{12-23}$$

式中　LAG_{i-j}——工作 i 与其紧后工作 j 之间的时间间隔；

ES_j——工作 i 的紧后工作 j 的最早开始时间；

EF_i——工作 i 的最早完成时间。

3) 确定网络计划的计划工期

网络计划的计算工期 $T_c = EF_n$。假设未规定要求工期，则其计划工期就等于计算工期。

4) 计算工作的总时差

工作总时差的计算应从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向按节点编号从大到小的顺序依次进行。

(1) 网络计划终点节点 n 所代表的工作的总时差应等于计划工期与计算工期之差，即

$$TF_n = T_p - T_c \tag{12-24}$$

当计划工期等于计算工期时，该工作的总时差为零。

(2) 其他工作的总时差应等于本工作与其各紧后工作之间的时间间隔加该紧后工作的总时差所得之和的最小值，即

$$TF_i = \min\left\{LAG_{i-j} + TF_j\right\} \tag{12-25}$$

式中　TF_i——工作 i 的总时差；

LAG_{i-j}——工作 i 与其紧后工作 j 之间的时间间隔；

TF_j——工作 i 的紧后工作 j 的总时差。

5) 计算工作的自由时差

(1) 网络计划终点节点 n 所代表工作的自由时差等于计划工期与本工作的最早完成时间之差，即

$$FF_n = T_p - EF_n \tag{12-26}$$

式中　FF_n——终点节点 n 所代表的工作的自由时差；

T_p——网络计划的计划工期；

EF_n——终点节点 n 所代表的工作的最早完成时间。

(2) 其他工作的自由时差等于本工作与其紧后工作之间时间间隔的最小值，即

$$EF_i = \min\left\{LAG_{i-j}\right\} \tag{12-27}$$

6）计算工作的最迟完成时间和最迟开始时间

工作的最迟完成时间和最迟开始时间的计算根据总时差计算。

(1) 工作的最迟完成时间等于本工作的最早完成时间与其总时差之和，即

$$LF_i = EF_i + TF_i \tag{12-28}$$

(2) 工作的最迟开始时间等于本工作最早开始时间与其总时差之和，即

$$LS_i = ES_i + TF_i \tag{12-29}$$

2. 单代号网络计划关键线路的确定

1）利用关键工作确定关键线路

如前所述，总时差最小的工作为关键工作。将这些关键工作相连，并保证相邻两项关键工作之间的时间间隔为零而构成的线路就是关键线路。

2）利用相邻两项工作之间的时间间隔确定关键线路

从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向依次找出相邻两项工作之间时间间隔为零的线路就是关键线路。

3）利用总持续时间确定关键线路

在单代号网络计划中，线路上工作总持续时间最长的线路为关键线路。

【例 12-2】某工程分为 3 个施工段，施工过程及其延续时间为砌围护墙及隔墙 12d、内外抹灰 15d、安铝合金门窗 9d、喷刷涂料 12d。拟组织瓦工、抹灰工、木工和油工 4 个专业队组进行施工。试绘制单代号网络图并计算相关参数。

解：绘制的单代号网络图以及相关参数的计划结果如图 12.19 所示。

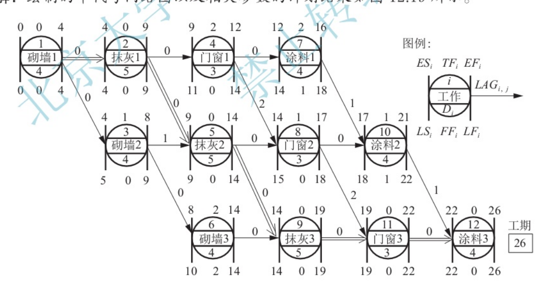


图 12.19 单代号网络计划时间参数计算示例

12.3 网络计划的优化

网络计划的优化，就是在满足既定的约束条件下，按某一目标，对网络计划进行不断检查、评价、调整和完善，以寻求最优网络计划方案的过程。网络计划的优化有工期

优化、费用优化和资源优化三种。费用优化又叫时间成本优化；资源优化分为资源有限－工期最短的优化和工期固定－资源均衡的优化。

12.3.1 工期优化

当初始网络计划的计算工期大于目标工期（$T_c > T_r$）时，可通过压缩关键线路上工作的持续时间或调整工作关系，以满足目标工期的要求。

在确定需缩短持续时间的关键工作时，应按以下几个方面进行选择。

（1）缩短持续时间对质量和安全影响不大的工作。

（2）有充足备用资源的工作。

（3）缩短持续时间所需增加的工人或材料最少的工作。

（4）缩短持续时间所需增加的费用最少的工作。

1. 压缩关键工作考虑的因素

（1）压缩对质量、安全影响不大的工作。

（2）压缩有充足备用资源的工作。

（3）压缩增加费用最少的工作，即压缩直接费费率或赶工费费率或优选系数最小的工作。

2. 压缩方法

（1）当只有一条关键线路时，在其他情况均能保证的条件下，压缩直接费费率或赶工费费率或优选系数最小的关键工作。

（2）当有多条关键线路时，应同时压缩各条关键线路相同的数值，压缩直接费费率或赶工费费率或优选系数组合最小者。

（3）由于压缩过程中非关键线路可能转为关键线路，切忌压缩“一步到位”。

3. 工期优化方法

（1）计算计划工期 T_c。若计划工期 T_c >要求工期 T_r，则进行步骤（2）。

（2）界定压缩目标：$\Delta T = T_r - T_c$。

（3）优先将关键工作持续时间压缩至极限持续时间。此时若出现新关键线路使原关键工作成为非关键工作，则减少压缩幅度使之仍保持为关键工作，即“松弛”。

（4）完成步骤（3）后如 $T_c > T_r$，继续压缩某些关键工作的持续时间，对多条关键线路的不同关键工作应设定相同的压缩幅度。

（5）经过步骤（4）逐步压缩关键工作的持续时间后，使计划工期缩短幅度达到要求工期，工期优化过程结束。

【例 12-3】已知网络计划如图 12.20 所示，箭线下方括号外数字为工作的正常持续时间，括号内为最短持续时间，假定要求工期为 40d，根据实际情况及各种因素，决定缩短工作持续时间的顺序为 G、B、C、H、E、D、A、F。试对网络计划进行工期优化。

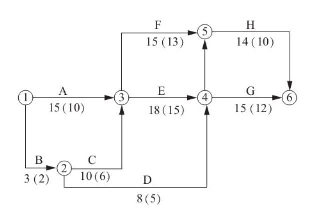


图 12.20 某网络计划图

解：第一步：用标号法计算初始网络计划的时间参数。

第二步：确定网络计划应予压缩的天数为 8d。

第三步：将 G 工作的持续时间压缩为极限持续时间；重新计算网络计划时间参数；新的关键线路取代了原关键线路；G 工作压缩后成了非关键线路，应比照关键线路 47d 将 G 工作的压缩幅度恢复；经过调整，A—E—G 被恢复为与 A—E—H 等长的关键线路；G 工作的关键工作地位也得到重新恢复。

第四步：为使工期压缩有效，应同时压缩 A—E—G 和 A—E—H 两条关键线路。

第五步：依工作压缩顺序，先压缩 E 工作至极限持续时间（3d），再压缩 A 工作至适当程度（2d）；重新计算工期 T_{c3} 为 40d；重新确认关键线路；关键线路则除 A—E—G 和 A—E—H 外，新增了 A—F—H、A—B—C—F—H 和 A—B—C—E—G 3 条线路。

12.3.2 费用优化

费用优化又称工期成本优化，是指寻求工程总成本最低时的工期安排，或按要求工期寻求最低成本计划安排的过程。

1. 工程费用与时间的关系

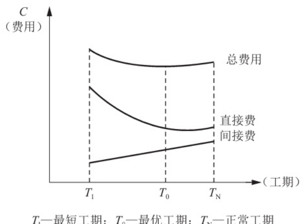
1）工程费用与工期的关系

工程总费用由直接费和间接费组成。直接费由人工费、材料费、机械费、措施费等组成。施工方案不同，直接费也就不同。如果施工方案一定，工期不同，直接费也不同。直接费会随着工期的缩短而增加。间接费包括管理费等内容，它一般随着工期的缩短而减少。工程费用与工期的关系如图 12.21 所示。由图 12.21 可知，当确定一个合理的工期，就能使总费用达到最小，这也是费用优化的目标。

2）工作直接费与持续时间的关系

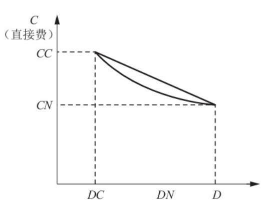
由于网络计划的工期取决于关键工作的持续时间，为了进行工期优化必须分析网络计划中各项工作的直接费与持续时间的关系，它是网络计划工期成本优化的基础。

工作的直接费随着持续时间的缩短而增加，如图 12.22 所示。



T_1—最短工期；T_0—最优工期；T_N—正常工期

图 12.21　费用 – 工期曲线



CC—按最短（极限）持续时间完成工作时所需的直接费；
CN—按正常持续时间完成工作时所需的直接费

图 12.22　工作直接费与持续时间的关系曲线

为了简化计算，工作的直接费与持续时间之间的关系被近似地认为是呈直线关系。工作的持续时间每缩短单位时间而增加的直接费称为直接费用率，直接费用率可按式（12-30）计算：

$$\Delta C_{i-j}=\frac{CC_{i-j}-CN_{ij}}{DN_{i-j}-DC_{i-j}} \tag{12-30}$$

式中　ΔC_{i-j}——工作 i—j 的直接费用率；

CC_{i-j}——按最短（极限）持续时间完成工作 i—j 时所需的直接费；

CN_{ij}——按正常持续时间完成工作 i—j 时所需的直接费；

DN_{i-j}——工作 i—j 的正常持续时间；

DC_{i-j}——工作 i—j 的最短（极限）持续时间。

2. 费用优化方法

费用优化的基本思路：不断地在网络计划中找出直接费用率（或组合直接费用率）最小的关键工作，缩短其持续时间，同时考虑间接费用随工期缩短而减少的数值，最后求得工程总成本最低时的最优工期安排或按要求工期求得最低成本的计划安排。

按照上述基本思路，费用优化可按以下步骤进行。

（1）按工作的正常持续时间确定计算工期和关键线路。

（2）计算各项工作的直接费用率。

（3）当只有一条关键线路时，应找出组合直接费用率最小的一项关键工作，作为缩短持续时间的对象；当有多条关键线路时，应找出组合直接费用率最小的一组关键工作，作为缩短持续时间的对象。

（4）对于选定的压缩对象（一项关键工作或一组关键工作），首先要比较其直接费用率或组合直接费用率与工程间接费用率的大小，然后再进行压缩。压缩方法如下。

①如果被压缩对象的直接费用率或组合直接费用率大于工程间接费用率，则说明压缩关键工作的持续时间会使工程总费用增加，此时应停止缩短关键工作的持续时间，在此之前的方案即为优化方案。

②如果被压缩对象的直接费用率或组合直接费用率等于工程间接费用率，则说明压缩关键工作的持续时间不会使工程总费用增加，故应缩短关键工作的持续时间。

③如果被压缩对象的直接费用率或组合直接费用率小于工程间接费用率，则说明压缩关键工作的持续时间会使工程总费用减少，故应缩短关键工作的持续时间。

(5) 当需要缩短关键工作的持续时间时，其缩短值的确定必须符合下列两条原则。

①缩短后工作的持续时间不能小于其最短持续时间。

②缩短持续时间的工作不能变成非关键工作。

(6) 计算关键工作持续时间缩短后相应的总费用。

优化后工程总费用 = 初始网络计划的费用 + 直接费增加费 − 间接费减少费用 (12-31)

(7) 重复上述步骤 (3) ～ (6) 步，直至计算工期满足要求工期或被压缩对象的直接费用率或组合直接费用率大于工程间接费用率为止。

(8) 计算优化后的工程总费用。

12.3.3 资源优化

施工过程就是消耗资源（人力、材料、设备和资金）的过程，网络计划的优化可调整资源供求矛盾、实现资源均衡利用。资源优化有两种不同目标。

(1) 资源有限、工期最短（在满足资源限制的条件下，工期延长幅度最小）。

(2) 工期一定、资源需求平衡（在工期保持不变的前提下，使资源需用量尽可能达到在时间分布上的均衡）。

12.4 网络计划的控制

网络计划的控制是一个发现问题、分析问题和解决问题的连续的系统过程。

网络计划的控制内容。

(1) 检查网络计划的实施情况，找出偏离计划的偏差，发现影响计划实施的干扰因素及计划制订本身存在的不足。

(2) 确定调整措施，采取纠偏行动，确保施工组织与管理过程正常运行，顺利完成事先确定的各项计划目标。

12.4.1 网络计划执行情况的检查方法

1. S 形曲线比较法

S 形曲线是一个以横坐标表示时间、纵坐标表示任务量完成情况的曲线图。将计划完成和实际完成的累计工作量分别制成 S 形曲线，任意检查日期对应的实际 S 形曲线上的一点，若位于计划 S 曲线左侧表示实际进度比计划进度超前；位于右侧，则表示实际

进度比计划进度滞后。图 12.23 为 S 形曲线比较法用法示意图。

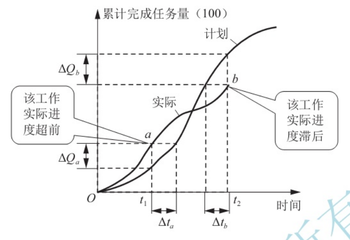


图 12.23　S 形曲线比较法用法示意图

2. 香蕉形曲线比较法

香蕉形曲线是由具有同一开始时间和结束时间的 ES 曲线（最早开始时间）和 LS 曲线（最迟开始时间）两条曲线组成。

显然，任一时段按实际进度描出的点均落在香蕉形曲线区域内，表明实际工程进度被控制于最早开始时间和最迟开始时间界定的范围之内。图 12.24 为香蕉形曲线比较法用法示意图。

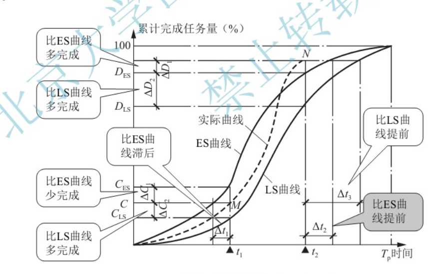


图 12.24　香蕉形曲线比较法用法示意图

3. 前锋线比较法

前锋线比较法是根据进度检查日期各项工作实际达到的位置所绘制出的进度前锋线，与检查日期线进行对比，确定实际进度与计划进度偏差的一种方法。它主要适用于时标网络计划，且各项工作是匀速进展的情况。

进度前锋线的绘制方法是在原时标网络计划中，从检查日期位置用点画线依次连接在检查日期各项工作实际到达的位置，形成一条折线，如图 12.25 所示。

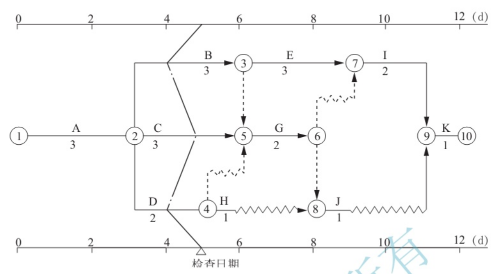


图 12.25　时标网络计划前锋线检查

前锋线可以直观地反映出检查日期有关工作实际进度与计划进度之间的关系。从图 12.25 所示的前锋线可以看出，在项目进行到第 5d 进行进度检查的时候，工作 B、D 拖后，工作 C 与计划进度一致。工作 B 实际进度拖后 1d，将使其后续工作 E 的最早开始时间推迟 1d，并使总工期延长 1d。工作 D 的实际进度拖后 1d，既不影响总工期，也不影响其后续工作的正常进行。综上所述，如果不采取措施加快进度，该工程项目的总工期将延长 1d。

12.4.2　网络计划执行情况检查结论的分析

工程项目施工过程中造成进度拖延的原因很多，概括起来主要有以下几种。

(1) 计划欠周密：编制网络计划时遗漏施工过程，漏算工程量；施工设备不能准时进场，材料供应中断等。

(2) 工程实施条件发生变化：设计图变更、设备交付延误、施工工艺改变等。

(3) 管理工作失误：缺乏对计划执行情况的主动控制、总分包之间配合协调不力、因质量问题出现返工、项目所需资金到位不及时等。

12.4.3　网络计划执行过程中的调整方法

当项目的实际进度与计划进度产生偏差，对于进度出现拖延，会影响工程项目进度目标的实现的情况，应采取调整措施。

(1) 增加资源投入（如增加劳动力、机械和材料的投入量），压缩关键线路的工作工期，这是最常用的办法。要有选择地压缩关键工作的时间，即优先选择因压缩时间对费用增加、质量、资源需求增加等影响小的关键工作的持续时间。

(2) 改变网络计划中工程活动的逻辑关系，如将前后顺序工作改为平行工作。但一般说来，只能调整组织关系，而工艺关系不宜调整，以免打乱原计划。

(3) 减少工作范围，包括减少工程量或删去一些工作包（或分项工程）。

(4) 修改施工方案，提高劳动生产率。

(5) 将部分任务分包、委托给另外的单位，将原计划由自己生产的结构构件改为外购等。

(6) 将一些工作包合并，特别是在关键线路上按先后顺序实施的工作包合并，与实施者一道研究，通过局部地调整实施过程和人力、物力的分配，达到缩短工期的目的。

12.5 网络计划在施工中的应用

12.5.1 工期索赔

在建设工程施工过程中，其工期的延长分为工程延误和工程延期两种。虽然它们都是使工程拖期，但由于性质不同，因而业主与承包单位所承担的责任也就不同。如果工期的延长是由于承包商的原因或承担责任的拖延，则是属于工程延误，则由此造成的一切损失由承包单位承担，承包单位需承担赶工的全部额外费用。同时，业主还有权对承包单位施行误期违约罚款。而如果工期的延长是非承包商应承担的责任，应属于工程延期，则承包单位不仅有权要求延长工期，而且可能还有权向业主提出赔偿费用的要求，以弥补由此造成的额外损失，即可以进行工期索赔。因此，监理工程师是否将施工过程中工期的延长批准为工程延期，是否给予工期索赔或工期与费用同时索赔对业主和承包单位都十分重要。

1. 工程延期的可能因素

(1) 不可抗力。指合同当事人不能遇见、不能避免并且不能克服的客观情况，如异常恶劣的气候、地震、洪水、爆炸、空中飞行物坠落等。

(2) 监理工程师发出工程变更指令导致工程量增加。

(3) 业主的要求、业主应承担的工作，如场地、资料等提供延期，以及业主提供的材料、设备有问题。

(4) 不利的自然条件，如地质条件的变化。

(5) 文物及地下障碍物。

(6) 合同所涉及的任何可能造成工程延期的原因，如延期交图、设计变更、工程暂停、对合格工程的剥离（或破坏）检查等。

2. 工程延期索赔成立的条件

(1) 合同条件。工程延期成立必须符合合同条件，也就是说，导致工程拖延的原因确实属于非承包商的责任，否则不能认为是工程延期。这是工程延期成立的根本原则。

(2) 影响工期。发生工程延期的事件，还要考虑是否造成实际损失，是否影响工期。当这些工程延期事件处在施工进度计划的关键线路上时，必将影响工期。当这些工程延期事件发生在非关键线路上，且延长的时间并未超过其总时差时，即使符合合同条件，也不能批准工程延期成立；若延长的时间超过总时差，则必将影响工期，应批准工程延

期成立，工程延期的时间根据某项拖延时间与其总时差的差值考虑。

(3) 及时性原则。发生工程延期事件后，承包商应对延期事件发生后的各类有关细节进行记录，并按合同约定及时向监理工程师提交工程延期申请及相关资料，以便为合理确定工程延期时间提供可靠依据。

【例 12-4】某施工网络计划如图 12.26 所示，在施工过程中发生以下事件。

(1) A 工作因业主原因晚开工 2d。

(2) B 工作承包商只用 18d 便完成。

(3) H 工作由于不可抗力影响晚开工 3d。

(4) G 工作由于工程师指令晚开工 5d。

试问，承包商可索赔的工期为多少天？

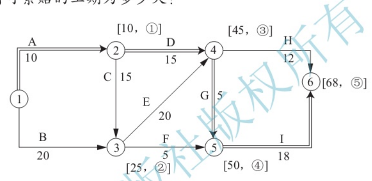


图 12.26 某工程施工计划

解：(1) 求合同状态下的工期 T_c。

利用网络计划的标号法可求得 $T_c = 68$ d。

(2) 求可能状态下的工期 T_k，即求非承包商应承担责任干扰事件影响下的工期，如图 12.27 所示。

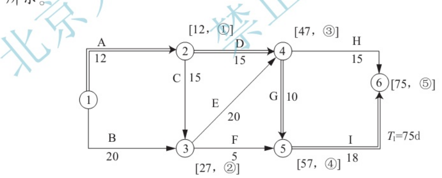


图 12.27 可能状态工期计算

由图上计算知，T_k=75d

(3) 求 ΔT 。

$$\Delta T = T_k - T_c = 75 - 68 = 7\ (\text{d})$$

即承包商可索赔的工期为 7d。

12.5.2 工期费用综合索赔

在施工管理过程中，承包商不仅可以利用进度计划进行工期索赔，而且可以利用进

度计划进行费用索赔及要求业主给予提前竣工奖等的补偿。利用进度计划进行工期费用综合索赔的具体方法及步骤可以参考以下示例。

【例 12-5】某施工单位与业主按《建设工程施工合同（示范文本）》(GF—2013—0201)签订施工承包工程合同，施工进度计划得到监理工程师的批准，如图 12.28 所示（单位：d)。

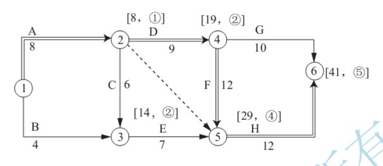


图 12.28　某工程施工计划

施工中，A、E 使用同一种机械，其台班费为 500 元 / 台班，折旧（租赁）费为 300 元 / 台班，假设人工工资为 40 元 / 工日，窝工费为 20 元 / 工日。合同规定提前竣工奖为 1000 元 / 天，延误工期罚款为 1500 元 / 天（各工作均按最早时间开工）。

施工中发生了以下的情况。

(1) A 工作由于业主原因晚开工 2d，致使 11 人在现场停工待命，其中 1 人是机械司机。

(2) C 工作原工程量为 100 个单位，相应合同价为 2000 元，后设计变更工程量增加了 100 个单位。

(3) D 工作承包商只用了 7d 时间。

(4) G 工作由于承包商原因晚开工 1d。

(5) H 工作由于不可抗力发生增了 4d 作业时间，场地清理用了 20 工日，问在此计划执行中，承包商可索赔的工期和费用各为多少?

解：1）工期顺延计算

(1) 合同工期。计算如图 12.29 所示，T_c=41d。

(2) 可能状态下的工期。

A 作业持续时间：8 + 2 = 10 (d)；

C 工作持续时间：6 + 6 = 12 (d)；

H 工作持续时间：12 + 4 = 16 (d)；

计算如图 12.29 所示，可能状态下工期为：T_k = 47d。

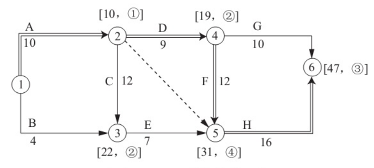


图 12.29　可能状态的工期

(3) 可索赔工期为：47-41 = 6(d)。

2) 费用索赔（或补偿）的计算

(1)A 工作：(11-1)×20 ×2+ 2×300 = 1000(元)。

(2)C 工作：$2000\times\frac{100}{100}=2000$（元）。

(3) 清场费：20×40 = 800(元)。

(4) 机械闲置的增加。

①按原合同计划，闲置时间：14 − 8 = 6(d)；

②考虑了非承包商的原因闲置时间：22 − 10 = 12(d)；

③增加闲置时间：12 − 6 = 6(d)；

④费用补偿：6×300 = 1800(元)。

(5) 奖励或罚款：实际状态的工期计算如图 12.30 所示。

实际状态工期为 $t = 45$(d)；

$\Delta t = t - T_k = 45 - 47 = -2$ (d)，小于零，说明工期提前。

提前奖：2×1000=2000(元)；

所以，可索赔及奖励的费用补偿为：1000+2000+800+1800+2000=7600(元)。

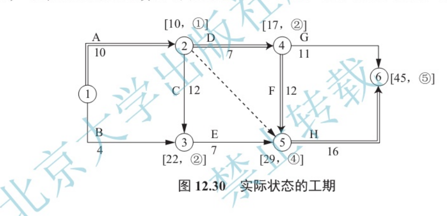


图 12.30　实际状态的工期

本章小结

通过本章的学习，掌握双代号和时标网络图的绘制方法，掌握时间参数的有关计算方法，了解网络计划的优化原理。

习　　题

一、简答题

1. 简述双代号和单代号网络图各自的表达。

2. 简述绘制网络图的基本原则和要求。

3. 网络计划有哪些参数？每个参数的具体含义是什么？

4. 如何进行关键路线的确定？

5. 如何进行网络计划的优化？

二、选择题

1. 关于网络计划关键线路的说法，正确的有（　）。(2013年二级建造师施工管理考试真题)

A. 单代号网络计划中由关键工作组成的线路

B. 总持续时间最长的线路

C. 双代号网络计划中无虚箭线的线路

D. 时标网络计划中没有波形线的线路

E. 双代号网络计划中由关键节点连成的线路

2. 关于双代号网络图绘制规则的说法，正确的是（　）。(2014年二级建造师施工管理考试真题)

A. 箭线不能交叉　　B. 关键工作必须安排在图画中心

C. 只有一个起点节点　　D. 工作箭线只能用水平线

3. 某双代号网络计划如图12.31所示（时间单位：d），其计算工期是（　）d。(2014年二级建造师施工管理考试真题)

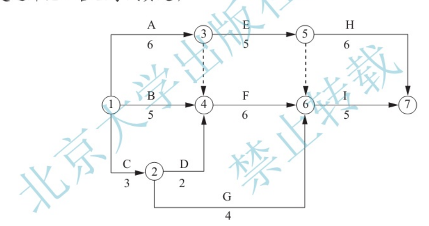


图 12.31　某双代号网络计划

A.16　　B. 17　　C.18　　D.20

4. 双代号网络计划中的关键路线是指（　）。(2014年二级建造师施工管理考试真题)

A. 总时差为零的路线　　B. 工作持续时间最短的路线

C. 一经确定，不会发生转移的路线　　D. 自始至终全部由关键工作组成的路线

三、计算题

1. 某项目各工序与所需时间以及各工序的先后关系图见表12-3。

表 12-3　某项目各工序与所需时间以及各工序的先后顺序

工序名称	各工序时间	紧前工序	工序名称	各工序时间	紧前工序
A	6		C	7	A
B	5		D	5	A

（续）

工序名称	各工序时间	紧前工序	工序名称	各工序时间	紧前工序
E	6	B	H	2	F
F	4	E、C	I	4	G
G	9	E、C			

试求：

(1) 画出网络图。

(2) 计算工序 HI 的 ES 和 LS。

(3) 确定关键路线和项目的计划时间。

2. 已知某工作明细表（表 12-4），试绘制双代号网络图并计算各项工作的时间参数（按工作计算法用六时标注，假定计划工期与计算工期相等），并确定关键线路和总工期。

表 12-4 某工作明细表

工作代号	紧前工作	工作历时 /d	工作代号	紧前工作	工作历时 /d
A	—		G	C、D	
B	A		H	C	
C	B		I	E、G	
D	B		J	G	
E	C				

3. 某人防工程，建筑面积 5000m^2，地下一层，层高 4m，基坑深为自然地面以下 6.5m。建设单位委托监理单位对工程实施全过程监理，建设单位和某施工单位根据《建设工程施工合同（示范文本）》(GF—1999—0201) 签订了施工承包合同，工程施工过程中发生了下列事件。

工程楼板组织分段施工，某一段各工作的逻辑关系见表 12-5。

(2012 年二级建造师考试实务考试真题）

表 12-5 某一段各工作的逻辑关系

工作内容	材料准备	支撑搭设	模板铺设	钢筋加工	钢筋绑扎	混凝土浇筑
工作编号	A	B	C	D	E	F
紧后工作	B、D	C	E	E	F	—
工作时间	3	4	3	5	5	1

问题：

根据事件表中给出的逻辑关系，绘制双代号网络计划图，并计算该网络计划图的工期。

第13章

施工组织总设计

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
施工组织设计的编制原则、依据和内容	重点掌握	施工组织设计的编制原则、依据和内容
施工部署和主要项目施工方案的选择	了解	工程概况、确定施工方案
施工总进度计划安排	掌握	施工进度计划的作用、编制依据、施工进度计划的编制
暂设工程	了解	暂设工程的布置方法
资源供应计划的编制	了解	施工准备工作、资源配置计划
施工总平面图	了解	施工总平面布置的内容、施工总平面布置的原则、施工总平面布置的步骤、主要施工管理计划

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
施工总平面图设计的步骤和内容	重点掌握	施工总平面布置的内容、施工总平面布置的原则、施工总平面布置的步骤、主要施工管理计划
工程概况的编制，现场临时用水和用电	掌握	工程概况的编制，现场临时用水和用电的计算方法



案例导航

某工业园进入全面开工准备阶段，在开工前期，由总承包单位负责编制施工组织总设计，作为整个工业园总体建设战略部署；对整个园区施工过程起统筹规划、重点控制作用的施工组织设计，是指导全局性施工的技术和经济纲要。

本章问题讨论

1. 施工组织总设计对整个工程建设进度、成本、质量是如何控制的？
2. 如何体现施工组织总设计编制的合理性？

13.1 编制原则、依据和内容

13.1.1 施工组织总设计的概念和作用

1. 施工组织总设计的概念

施工组织总设计是以一个建设项目或建筑群为对象，根据初步设计或扩大初步设计图样以及其他有关资料和现场施工条件编制，用以指导整个施工现场各项施工准备和组织施工活动的技术经济文件。施工组织总设计一般由建设总承包单位或工程项目经理部的总工程师编制。

2. 施工组织总设计的作用

(1) 为建设项目或建筑群体工程施工阶段作出全局性的战略部署。
(2) 为做好施工准备工作，保证资源供应提供依据。
(3) 为组织全工地性施工业务提供科学方案和实施步骤。
(4) 为施工单位编制工程项目生产计划和单位工程的施工组织设计提供依据。
(5) 为业主编制工程建设计划提供依据。
(6) 为确定设计方案的施工可行性和经济合理性提供依据。

13.1.2 施工总进度计划的编制原则

除满足第 11 章所述的施工组织设计的原则以外，还应考虑以下几点。

(1) 严格遵守合同规定，把配套建设作为安排总进度的指导思想。

(2) 以配套投产或交付使用为目标，根据各项工程的轻重缓急，把工艺调试在前的、占用工期较长的、工程难度较大的项目安排在前面；把工艺调试靠后的、占用工期较短的、工程难度较小的项目排列在后。

(3) 在年度投资额分配上应尽可能将投资额少的工程项目安排在最初年度内施工；投资额大的工程项目安排在最后年度内施工，以减少投资贷款的利息。

(4) 充分估计设计出图的时间和材料、设备、配件的到货情况，务必使每个施工项目的施工准备、土建施工、设备安装和试车运转的时间能合理衔接。

(5) 将办公楼、宿舍、附属或辅助车间等作为调节项目穿插其中，以达到既能保证重点，又能实现均衡施工的目的。

13.1.3 施工组织总设计的编制依据

1. 设计文件及有关资料

设计文件及有关资料主要包括建设项目的初步设计、扩大初步设计或技术设计的有

关图样、设计说明书、建筑区域平面图、建筑总平面图、建筑竖向设计、总概算或修正概算等。

2. 计划文件及有关合同

计划文件及有关合同文件，主要包括国家批准的基本建设计划、可行性研究报告、工程项目一览表、分期分批施工项目和投资计划；地区主管部门的批件、施工单位上级主管部门下达的施工任务计划；招投标文件及签订的工程承包合同；工程材料和设备的订货指标；引进材料和设备供货合同等。

3. 工程勘察和技术经济资料

建设地区的工程勘察资料：地形、地貌，工程地质及水文地质，气象等自然条件。

建设地区技术经济条件：可能为建设项目服务的建筑安装企业、预制加工企业的人力、设备、技术和管理水平；工程材料的来源和供应情况；交通运输、水、电供应情况；商业和文化教育水平和设施情况等。

4. 现行规范、规程和有关技术规定

国家现行的施工及验收规范、操作规程、定额、技术规定和技术经济指标。

5. 类似建设项目的施工组织总设计和有关总结资料

有关的政策法规、技术规范、工程定额、类似工程项目建设的经验等。

13.1.4 施工组织总设计的内容

(1) 工程概况。
(2) 施工部署和施工方案。
(3) 施工准备工作计划。
(4) 施工总进度计划。
(5) 各种物质资源需用量计划。
(6) 施工总平面图。
(7) 技术经济指标。

13.1.5 施工组织总设计的编制程序

施工组织总设计的编制程序框架图如图 13.1 所示。

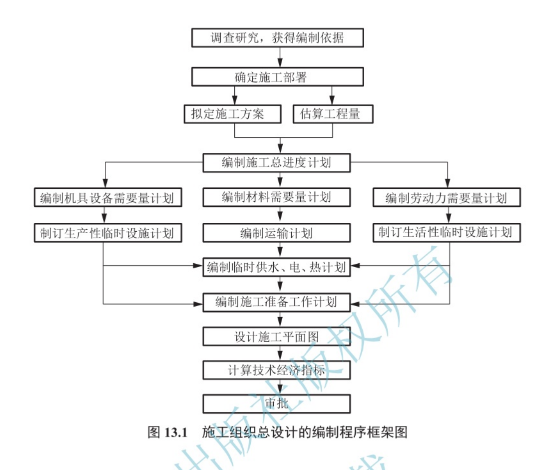


图 13.1 施工组织总设计的编制程序框架图

13.2 施工部署和主要项目施工方案

13.2.1 施工部署

施工部署是对整个建设工程进行全面安排，并对工程施工中的重大问题进行战略性决策。其主要内容如下。

(1) 工程开展程序。

(2) 主要施工项目的施工方案。

(3) 施工任务的划分与组织安排。

(4) 全场性临时设施的规划。

13.2.2 工程开展程序

根据建设项目总目标的要求，确定工程分期分批施工的合理开展程序。对于一些大型工业企业项目，如冶金联合企业、化工联合企业、火力发电厂等项目都是由许多工厂或车间组成的，确定施工开展程序时，应主要考虑以下几点。

(1) 在保证工期的前提下，实行分期分批建设，既可使各具体项目迅速建成，尽早投入使用，又可在全局上实现施工的连续性和均衡性，减少暂设工程数量，降低工程成本。

(2) 统筹安排各类项目施工，保证重点，兼顾其他，确保工程项目按期投产。按照各工程项目的重要程度，应优先安排的工程项目如下。

①按生产工艺要求，需先期投入生产或起主导作用的工程项目。

②工程量大、施工难度大、工期长的项目。

③运输、动力系统。如厂区内外道路、铁路和变电站等。

④生产上需先期使用的机修、办公楼及部分家属宿舍等。

⑤供施工使用的工程项目。如采砂（石）场、木材加工厂、各种构件加工厂、混凝土搅拌站等施工附属企业及其他为施工服务的临时设施。

(3) 所有工程项目均应按照先地下、后地上，先深后浅，先干线后支线的原则进行安排。例如地下管线和修筑道路的程序，应该是先铺设管线，后在管线上修筑道路。

(4) 要考虑季节对施工的影响。例如大规模土方工程和深基础施工，最好避开雨季。寒冷地区入冬以后最好封闭房屋并转入室内作业和设备安装。

①对于建设项目中工程量小、施工难度不大、周期较短而又不急于使用的辅助项目，可以考虑与主体工程相配合，作为平衡项目穿插在主体工程的施工中进行。

②对于大中型的民用建设项目（如居民小区），一般也应按年度分批建设。除考虑住宅以外，还应考虑幼儿园、学校、商店和其他公共设施的建设，以便交付使用后能保证居民的正常生活。

13.2.3　主要施工项目的施工方案

施工组织总设计中要拟定一些主要工程项目的施工方案。这些项目通常是建设项目中工程量大、施工难度大、工期长，对整个建设项目的完成起关键性作用的建筑物（或构筑物），以及全场范围内工程量大、影响全局的特殊分项工程。

拟定主要工程项目的施工方案目的是为了进行技术和资源的准备工作，同时也是为了施工进程的顺利开展和现场的合理布置。其内容包括确定施工方法、施工工艺流程、施工机械设备等。对施工方法的确定要兼顾技术工艺的先进性和经济上的合理性；对施工机械的选择，应使主导机械的性能既能满足工程的需要，又能发挥其效能，在各个工程上能够实现综合流水作业，减少其拆、装、运的次数。对于辅助配套机械，其性能应与主导施工机械相适应，以充分发挥主导施工机械的工作效率。

13.2.4　施工任务的划分与组织安排

在明确施工项目管理体制、机构的条件下，划分各参与施工单位的工作任务，明确总包与分包的关系，建立施工现场统一的组织领导机构及职能部门，确定综合的和专业化的施工组织，明确各单位之间分工与协作的关系，划分施工阶段，确定各单位分期分批的主攻项目和穿插项目。

13.2.5 全场性临时设施的规划

根据施工开展程序和主要工程项目施工方案，编制好施工项目全场性的施工准备工作计划。其主要内容包括如下。

(1) 安排好场内外运输，施工用主干道，水、电、气来源及其引入方案。

(2) 安排场地平整方案和全场性排水、防洪。

(3) 安排好生产和生活基地建设。包括商品混凝土搅拌站、预制构件厂、钢筋加工厂、木材加工厂、金属结构制作加工厂、机修厂等。

(4) 安排建筑材料、成品、半成品的货源和运输、储存方式。

(5) 安排现场区域内的测量工作，设置永久性测量标志，为放线定位做好准备。

(6) 编制新技术、新材料、新工艺、新结构的试制试验计划和职工技术培训计划。

(7) 冬期、雨期施工所需的特殊准备工作。

13.3 施工总进度计划

13.3.1 基本要求

编制施工总进度计划的基本要求是保证拟建工程在规定的期限内完成，发挥投资效益，保证施工的连续性和均衡性，节约施工费用。

13.3.2 编制依据

(1) 初步设计及扩大初步设计的有关技术资料。

(2) 施工工期要求及开工、竣工日期。

(3) 施工条件、劳动力、材料等供应条件。

(4) 确定的重要单位工程的施工方案。

(5) 劳动定额及其他有关的要求和资料。

13.3.3 编制原则

(1) 合理安排施工顺序，保证人力、物力、财力消耗最少的情况下，按规定工期完成施工任务。

(2) 采用合理的施工组织方法，使建设项目的施工能连续、均衡、有节奏地进行。

(3) 在安排年度工程任务时，要尽可能按季度均匀分配基本建设投资。

13.3.4 编制方法

(1) 列出工程项目一览表并计算工程量。

(2) 确定各单位工程的施工期限。

(3) 确定各单位工程的开工、竣工时间和搭接关系。

(4) 安排施工总进度计划，施工总进度计划可以用横道图和网络图表达。由于施工总进度计划只是起控制性作用，而且施工条件复杂，因此项目的划分不必过细。

(5) 施工总进度计划的调整和修正。

13.4 暂设（临时）工程

13.4.1 加工厂组织

工地上常设的加工厂（站）有混凝土搅拌站、砂浆搅拌站、钢筋加工厂、木材加工厂、金属结构制作加工厂等。

加工厂所需的建筑面积可参照有关指标并根据实际情况确定。加工厂的结构类型应根据地区条件和使用期限确定。

13.4.2 建筑工地运输业务组织

运输业务组织的内容包括确定运输量、选择运输方式、计算运输工具需要量。

13.4.3 建筑工地仓库业务组织

建筑工地所用仓库，按用途分有转运仓库、中心仓库和工地仓库。转运仓库，设在火车站或码头附近，供材料转运储存用；中心仓库，用以储存整个企业或大型施工现场的材料；工地仓库，专为某一工程服务。

按材料保管方式分有露天仓库、库棚和封闭式仓库。

正确的仓库业务组织，应在保证施工需要的前提下，使材料的储备量最少，储备期最短，装卸及转运费用最省。

13.4.4 行政管理、生活福利房屋的组织

应尽可能利用已有的或拟拆除的房屋，并充分利用先行修建能为施工服务的永久性建筑，以减少暂设工程费用开支。

13.4.5 建筑工地临时供水

1. 用水量计算

1）一般生产用水

$$q_1 = 1.1 \times \frac{\sum Q_1 N_1 K_1}{t \times 8 \times 3600} \tag{13-1}$$

式中 q_1——生产用水量（L/s）；

Q_1——年（季、月）度工程量，可从总进度计划及主要工种工程量中求得；

N_1——各工种工程施工用水定额；

K_1——每班用水不均衡系数（取 1.25 ～ 1.5）；

t——与Q_1相应的工作日（d），按每天一班计；

1.1——未预见用水量的修正系数。

2）施工机械用水

$$q_2 = 1.1 \times \frac{\sum Q_2 N_2 K_2}{t \times 8 \times 3600} \tag{13-2}$$

式中 q_2——施工机械用水量（L/s）；

Q_2——同一种机械台班数；

N_2——该种机械台班的用水定额；

K_2——施工机械用水不均衡系数（取 1.1 ～ 2）；

1.1——未预见用水量的修正系数。

3）生活用水

$$q_3 = 1.1 \times \frac{\sum P N_3 K_3}{24 \times 3600} \tag{13-3}$$

式中 q_3——生活用水量（L/s）；

P——建筑工地最高峰工人数；

N_3——每人每日用水定额；

K_3——每日用水不均衡系数（取 1.1 ～ 2）；

1.1——未预见用水量的修正系数。

4）消防用水

消防用水量q_4应根据建筑工地的大小及居住人数确定。

5）总用水量Q

（1）$q_1 + q_2 + q_3 \leqslant q_4$时，则

$$Q = q_4 + \frac{1}{2}(q_1 + q_2 + q_3) \tag{13-4}$$

（2）当$q_1 + q_2 + q_3 > q_4$时，则

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 \tag{13-5}$$

（3）当工地面积小于 5ha($1\text{ha}=10^4\text{m}^2$)，且$q_1 + q_2 + q_3 < q_4$时，则

$$Q = q_4 \tag{13-6}$$

2. 供水管径计算

$$D = \sqrt{\frac{4Q \times 1000}{\pi v}} \tag{13-7}$$

式中 D——供水管直径（mm）；

Q——总用水量；

v——管网中的水流速度（m/s），考虑消防供水时取 2.5 ～ 3。

13.4.6 建筑工地临时用电（施工用电）

建筑工地临时供电组织有计算用电量、选择电源、确定变压器、布置配电线路等。

1. 用电量计算

施工用电主要分动力用电和照明用电两部分，其用电量为：

$$P = (1.05 \sim 1.1)\left[K_1 \frac{\sum P_1}{\cos\varphi} + K_2 \sum P_2 + K_3 \sum P_3 + K_4 \sum P_4\right] \tag{13-8}$$

式中 P——供电设备总需要容量（kW）；

P_1——电动机额定功率（kW）；

P_2——电焊机额定容量（kW）；

P_3——室内照明容量（kW）；

P_4——室外照明容量（kW）；

$\cos\varphi$——电动机的平均功率因素（一般为 0.65 ～ 0.75，最高为 0.75 ～ 0.78）；

K_1、K_2、K_3、K_4——需要系数。

2. 选择电源

工地临时供电的电源，应优先选用城市或地区已有的电力系统，只有在无法利用或电源不足时，才考虑设临时电站供电。

3. 确定变压器

配电线路布置方案有枝状、环状和混合式三种，主要根据用户的位置和要求、永久性供电线路的形状而定。

$$P = K\left(\frac{\sum P_{max}}{\cos\varphi}\right) \tag{13-9}$$

式中 P——变压器输出功率（kW）；

K——功率损失系数，取 1.05；

$\sum P_{max}$——各施工区最大计算负荷（kW）；

$\cos\varphi$——电动机的平均功率因素。

4. 确定配电导线截面积

线路中的导线截面，则应满足机械强度、允许电流和允许电压降的要求，通常导线截面是先根据符合电流的大小选择，然后再以机械强度和允许电压损失值进行换算。

1）按机械强度确定

导线必须具有足够的机械强度以防止受拉或机械损伤而折断。

2）按允许电流选择

导线必须能承受负荷电流长时间通过所引起的温升。

（1）三相五线制线路上的电流可按下式计算：

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} \tag{13-10}$$

（2）二线制线路可按下式计算：

$$I = \frac{P}{U\cos\varphi} \tag{13-11}$$

式中 I——电流值（A）；

P——功率（W）；

U——电压（V）；

$\cos\varphi$——功率因数，临时电网取 0.7 ～ 0.75。

3）按容许电压降确定

$$S = \frac{\sum PL}{C\varepsilon} \tag{13-12}$$

式中 S——导线断面积（mm^2）；

P——负荷电功率或线路输送的电功率（kW）；

L——送电路的距离（m）；

C——系数，视导线材料、送电电压及配电方式而定；

ε——容许的相对电压降（即线路的电压损失百分比）。照明电路中容许电压降不应超过 2.5% ～ 5%。

选择导线截面时应同时满足上述三项要求，即以求得的三个截面积中最大者为准，从导线的产品目录中选用线芯。通常先根据负荷电流的大小选择导线截面，然后再以机械强度和允许电压降进行复核。

13.5 资源总需求计划

各项资源需要量计划是做好劳动力及物资供应、平衡、调度、落实的依据，其内容一般包括以下几个方面。

13.5.1　劳动力需要量计划

劳动力需要量计划是规划暂设工程和组织劳动力进场的依据。编制时首先根据工程量汇总表中分别列出的各个建筑物的主要实物工程量，查阅有关资料，便可得到各个建筑物主要工种的劳动量，再根据施工总进度计划表各单位工程分工种的持续时间，即可得到某单位工程在某段时间里的平均劳动力数量。按同样方法可计算出各个建筑物各主要工种在各个时期的平均工人数。将施工总进度计划表纵坐标方向上各单位工程同工种的人数叠加在一起并连成一条曲线，即为某工种的劳动力动态曲线图。其他工种也用同样方法绘成曲线图，从而根据劳动力曲线图列出主要工种劳动力需要量计划表，见表 13-1。

表 13-1　劳动力需要量计划

序号	工种	劳动量	施工高峰人数	××××年					××××年					现有人数	多余或不足

13.5.2　材料、构件和半成品需要量计划

根据工程量汇总表所列各建筑物的工程量，查有关定额或资料，便可得出各建筑物所需的建筑材料、构件和半成品的需要量。然后根据施工总进度计划表，大致算出某些建筑材料在某一时间内的需要量，从而编制出建筑材料、构件和半成品的需要量计划，见表 13-2。

这是材料供应部门和有关加工厂准备工程所需的建筑材料、构件和半成品并及时供应的依据。

表 13-2　主要材料、构件和半成品需要量计划

序号	工程名称	材料、构件和半成品名称								
		水泥/t	砂/m^3	砖块	……	混凝土/m^3	砂浆/m^3	……	木结构/m^2	……

13.5.3　施工机具需要量计划

主要施工机械（如挖土机、塔吊等）的需要量，根据施工总进度计划、主要建筑物的施工方案和工程量，并套用机械产量定额求得。辅助机械可根据建筑安装工程每十万元扩大概算指标求得。运输机具的需要量根据运输量计算。施工机具需要量计划见表 13-3。

表 13-3 施工机具需要量计划

序号	机具名称	规格型号	数量	电动机功率	需求量计划														
					××××年					××××年					××××年				

13.5.4 施工准备工作计划

为了落实各项施工准备工作，加强检查和监督，必须根据各项施工准备工作的内容、时间和人员，编制出施工准备工作计划，见表 13-4。

表 13-4 施工准备工作计划

序号	施工准备项目	内容	负责单位	负责人	起止时间		备注
					××月	××月	

13.6 施工总平面图

13.6.1 概述

施工平面图是指按照施工部署、施工方案和施工总进度计划，将各项生产、生活设施在现场平面上进行规划和布置。

实践证明，科学合理的施工平面图设计，对于提高施工生产效率，降低工程建设成本，保证工程质量和施工安全等方面起着十分关键的作用。

1. 分类

根据施工对象不同、范围的大小，施工平面图可分为以下两种。

(1) 施工总平面图。

(2) 单位工程施工平面图。

2. 主要设计原则

(1) 尽量减少施工用地，少占农田，使平面布置紧凑合理。

(2) 合理组织运输、减少运输费用，保证运输方便通畅。

(3) 施工区域的划分和场地的确定，应符合施工流程要求，尽量减少专业工种和各

工程之间的干扰。

(4) 充分利用各种永久性建筑物、构筑物和原有设施为施工服务，降低临时设施费用。

(5) 各种临时设施应便于生产和生活需要。

(6) 满足安全防火、劳动保护、环境保护等要求。

13.6.2 施工总平面图设计

1. 设计依据

(1) 工程位置图、规划图、总平面图、竖向布置图和地下设施布置图等。

(2) 工程建设总工期、分期建设情况与要求。

(3) 施工部署和主要单位工程施工方案。

(4) 工程施工总进度计划。

(5) 主要材料、构件和设备的供应计划及周转周期。

(6) 主要材料、构件和设备的供货与运输方式。

(7) 各类临时设施的类别、数量等。

2. 设计内容

(1) 一切地上和地下已有的和拟建的建筑物、构筑物及其他设施（道路、铁路和各种管线等）的位置和尺寸。

(2) 一切为工程项目建设服务的临时设施，包括以下内容。

①施工用道路、铁路。

②各类加工厂、仓库和堆场。

③行政管理和文化生活福利用房。

④临时给排水管线和供电线路、蒸汽和压缩空气管道。

⑤防洪设施，安全防火设施。

⑥取土弃土地点等。

(3) 永久性和半永久性测量用的水准点、坐标点、高程点、沉降观测点等。

3. 设计步骤

1) 场外交通的引入

设计全工地性施工总平面图时，首先应从大宗材料、成品、半成品、设备等进入工地的运输方式入手。当大批材料由铁路运来时，首先要解决铁路的引入问题；当大批材料由水路运来时，应首先考虑原有码头的运用和是否增设专用码头的问题；当大批材料由公路运入工地时，由于汽车线路可以灵活布置，因此，一般先布置场内仓库和加工厂，然后再引入场外交通。

2) 仓库与材料堆场的布置

仓库与材料堆场通常考虑设置在运输方便、位置适中、运距较短及安全防火的地方，

并应根据不同材料、设备和运输方式来设置。

(1) 当采用铁路运输时，仓库应沿铁路线布置，并且要有足够的装卸前线；如果没有足够的装卸前线，必须在附近设置转运仓库。布置铁路沿线仓库时，应将仓库设置在靠近工地一侧，避免运输跨越铁路。同时仓库不宜设置在弯道或坡道上。

(2) 当采用水路运输时，一般应在码头附近设置转运仓库，以缩短船只在码头上的停留时间。

(3) 当采用公路运输时，仓库的布置较灵活。一般中心仓库布置在工地中央或靠近使用的地方，也可以布置在靠近与外部交通连接处。水泥、砂、石、木材等仓库或堆场宜布置在搅拌站、预制场和加工厂附近；砖、预制构件等应该直接布置在施工对象附近，避免二次搬运。工业项目建筑工地还应考虑主要设备的仓库或堆场，一般较重设备应尽量放在车间附近，其他设备可布置在外围空地上。

3) 加工厂和搅拌站的布置

各种加工厂布置，应以方便使用、安全防火、运输费用少、不影响建筑安装工程施工的正常进行为原则。一般应将加工厂与相应的仓库或材料堆场布置在同一地区，且多处于工地边缘。

(1) 预制加工厂。尽量利用建设地区永久性加工厂，只有在运输困难时，才考虑在现场设置预制加工厂，现场预制加工厂一般设置在建设场地空闲地带上。

(2) 钢筋加工厂。一般采用分散或集中布置。对于需要进行冷加工、对焊、点焊的钢筋或大片钢筋网，宜集中布置在中心加工厂；对于小型加工件，利用简单机具成型的钢筋加工，宜分散在钢筋加工棚中进行。

(3) 木材加工厂。应视木材加工的工作量、加工性质和种类决定是集中设置还是分散设置。

(4) 混凝土供应站。根据城市管理条例的规定，并结合工程所在地点的情况，有两种选择：有条件的地区，尽可能采用商品混凝土供应方式；若不具备商品混凝土供应的地区，且现浇混凝土量大时，宜在工地设置搅拌站。当运输条件好时，以采用集中搅拌为好；当运输条件较差时，宜采用分散搅拌。

(5) 砂浆搅拌站。宜采用分散就近布置。

(6) 金属结构、锻工、电焊和机修等车间。由于它们在生产上联系密切，应尽可能布置在一起。

4) 场内道路的布置

根据各加工厂、仓库及各施工对象的相对位置，考虑货物运转，区分主要道路和次要道路，进行道路的规划。

(1) 合理规划临时道路与地下管网的施工程序。应充分利用拟建的永久性道路，提前修建永久性道路或先修路基和简易路面，作为施工所需的临时道路，以达到节约投资的目的。

(2) 保证运输畅通。应采用环形布置，主要道路宜采用双车道，宽度不小于 6m，次要道路宜采用单车道，宽度不小于 3.5m。

(3) 选择合理的路面结构。根据运输情况和运输工具的不同类型而定，一般场外与省、

市公路相连的干线，宜建成混凝土路面；场区内的干线，宜采用碎石级配路面；场内支线一般为土路或砂石路。

5）临时设施布置

临时设施包括办公室、汽车库、休息室、开水房、食堂、俱乐部、厕所、浴室等。根据工地施工人数，可计算临时设施的建筑面积。应尽量利用原有建筑物，不足部分另行建造。

一般全工地性行政管理用房宜设在工地入口处，以便对外联系；也可设在工地中间，便于工地管理。工人用的福利设施应设置在工人较集中的地方，或工人必经之处。生活区应设在场外，距工地 500 ～ 1000m 为宜。食堂可布置在工地内部或工地与生活区之间。临时设施的设计，应以经济、适用、拆装方便为原则，并根据当地的气候条件、工期长短确定其结构形式。

6）临时水电管网及其他动力设施的布置

当有可以利用的水源、电源时，可以将水电直接接入工地。临时的总变电站应设置在高压电引入处，不应放在工地中心。临时水池应放在地势较高处。

当无法利用现有水电时，为获得电源，可在工地中心或附近设置临时发电设备。为获得水源，可利用地下水或地上水设置临时供水设备（水塔、水池）。施工现场供水管网有环状、枝状和混合式三种形式。过冬的临时水管必须埋在冰冻线以下或采取保温措施。

消防栓应设置在易燃建筑物附近，并有通畅的出口和车道，其宽度不小于 6m，与拟建房屋的距离不得大于 25m，也不得小于 5m，消防栓间距不应大于 100m，到路边的距离不应大于 2m。

临时配电线路的布置与供水管网相似。工地电力网，一般 3 ～ 10kV 的高压线采用环状，沿主干道布置；380/220V 的低压线采用枝状布置。通常采用架空布置方式，距路面或建筑物不小于 6m。

上述布置应采用标准图例绘制在总平面图上，比例为 1:1000 或 1:2000（图 13.2）。上述各设计步骤不是独立的，而是相互联系、相互制约的，需要综合考虑、反复修正才能确定下来。若有几种方案时，应进行方案比较。

13.6.3　施工总平面图的科学管理

(1) 建立统一的施工总平面图管理制度，划分总图的使用管理范围。各区各片有人负责，严格控制各种材料、构件、机具的位置、占用时间和占用面积。

(2) 实行施工总平面动态管理，定期对现场平面进行实录、复核，修正其不合理的地方，定期召开总平面执行检查会议，奖优罚劣，协调各单位关系。

(3) 做好现场的清理和维护工作，不准擅自拆迁建筑物和水电线路，不准随意挖断道路。大型临时设施和水电管路不得随意更改和移位。

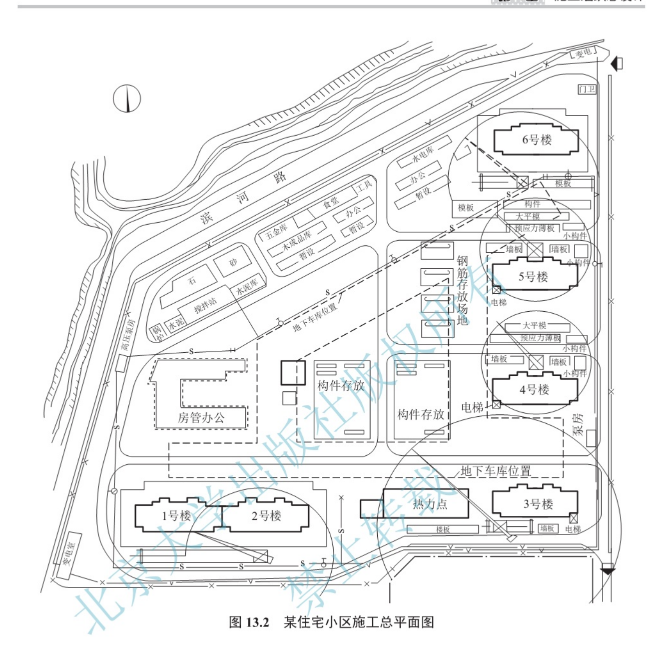


图 13.2 某住宅小区施工总平面图

本章小结

通过本章的学习，了解施工组织总设计的编制依据、程序和作用；掌握如何制定建设项目的施工部署、施工方案；了解施工总进度计划的编制方法和施工总平面图的设计内容及设计步骤。

习 题

一、简答题

1. 施工组织总设计有什么作用？

2. 施工组织总设计编制的依据是什么？

3. 施工组织总设计包括哪些内容？施工组织总设计与单位工程施工组织设计有什么关系？

二、选择题

1. 在各种施工组织设计中，可作为指导全局性施工的技术、经济纲要的是（　）。（2011 二级建造师施工管理考试真题）

A. 施工组织总设计　　B. 单项工程施工组织设计
C. 分部工程作业设计　　D. 单位工程施工组织设计

2. 施工组织总设计包括如下工作：①计算主要工种的工程量；②编制施工总进度计划；③编制资源需求量计划；④拟订施工方案。其正确的工作顺序是（　）。（2012 二级建造师施工管理考试真题）

A. ①②③④　　B. ①④②③　　C. ①③②④　　D. ④①②③

3. 施工组织总设计是以一个（　）为编制对象，用以指导其施工全过程的各项施工活动的综合技术经济性文件。

A. 单位工程　　B. 分项工程　　C. 分部工程　　D. 工程项目

4. 施工组织总设计是由（　）主持编制。

A. 分包单位负责人　　B. 总包单位总工程师
C. 施工技术人员　　D. 总包

5. 施工组织设计中施工资源需用量计划一般包括（　）等。（2013 二级建造师施工管理模拟试题多选题）

A. 劳动力　　B. 主要材料
C. 特殊工种作业人员　　D. 施工机具　　E. 施工设备

第14章

单位工程施工组织设计

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
单位施工组织设计的编制原则、依据和内容	掌握	单位施工组织设计的编制原则、依据和内容
施工概况和施工方案的选择	了解	了解工程概况、确定施工方案
单位工程施工进度计划安排	掌握	施工进度计划的作用、编制依据、施工进度计划的编制
资源供应计划的编制	了解	施工准备工作、资源配置计划
单位工程施工现场平面图布置	重点掌握	施工平面布置的内容、施工平面布置的原则、施工平面布置的步骤、主要施工管理计划

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
单位工程施工组织设计编制的主要内容和编制步骤	运用	施工方案的选择，施工进度的编制，施工平面布置的方法和要点，课后参考具体工程实例进行学习。单位工程施工组织课程设计任务书见附录4



案例导航

单位工程施工组织设计是以单位工程为对象，由承包商根据施工图样及其他有关资料和现场施工条件编制，对单位工程的施工过程起指导和制约作用的技术、经济文件。

单位工程施工组织设计的编制视工程的规模大小、复杂程度及用途（投标用或实施用）略有不同。

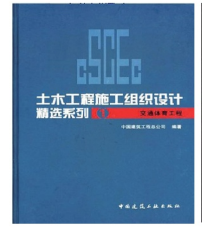
投标用的单位工程施工组织设计（即“技术标”），其内容与格式应满足招标文件中对技术标编制的要求，重视对评标办法的符合性、完整性，强调对业主要求的响应性，满足评委的可读性。

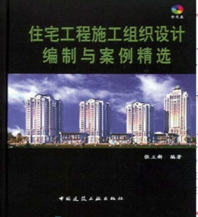
实施用的单位工程施工组织设计则应按《建筑施工组织设计规范》(GB/T 50502—2009) 的要求编制。参考资料如下图所示。

已编制施工组织总设计的单位工程施工组织设计，工程概况、施工部署、施工准备等内容可适当简化，但施工进度计划、资源配置计划、主要施工方案、施工平面布置和施工管理计划等内容则应更详细、更具体。

群体工程中的单位工程施工组织设计，则可对相同编制内容进行大幅简化，只对差异部分进行详细、具体的描述。

如果工程规模较小，可编制简单的施工组织设计，其内容是施工方案、施工进度计划、施工平面图，简称：“一案、一表、一图”。





本章问题讨论

1. 单位工程施工组织设计按照使用功能可以分为哪几种？它们各有什么作用？
2. 单位工程施工组织设计较完整的内容一般包括哪些部分？

14.1 编制原则、依据和内容

14.1.1 单位工程施工组织设计的编制原则

(1) 严格遵守工程合同要求工期和本合同承诺的施工期限，合理安排施工程序与顺序，保证各施工项目相互促进，紧密衔接，避免不必要的重复工作，加快施工进程。

(2) 用流水作业法和网络计划技术安排施工进度计划，以保证施工连续性，均衡地、有节奏地进行，合理使用人力、物力和财力，在确保工程质量的前提下，尽量缩短工期。

(3) 合理安排季节性施工，农忙季节保证施工的连续性。

(4) 贯彻节材、节能、提高质量、增进效益的原则，充分性应用“新材料，新设备，新工艺，新技术”，降低工程成本。

(5) 在满足施工需要的前提下，减少各种临时设施的投入，合理布置施工现场，尽量减少二次搬运，做到文明施工。

(6) 遵循目标管理的原则，对分部分项工程设定目标，做好各个环节的检查控制，以每个分项工程目标的逐项实现来保证整个工程目标的落实。

14.1.2 单位工程组织设计的编制依据

1）与建设单位签订的工程承包合同

特别是施工合同中有关工期、工程质量的标准要求等，对施工方案的选择和进度计

划的安排有重要影响。

2）施工图及设计单位对施工的要求

其中包括单位工程的全部施工图样、会审记录和相关标准图等有关设计资料。

3）施工组织总设计

当单位工程为建筑群的一个组成部分时，则该建筑物的施工组织设计必须按照施工组织总设计的各项指标和任务要求来编制，如进度计划的安排应符合总设计的要求等。

4）建设单位可能提供的条件

如现场“三通一平”情况，临时设施以及合同中约定的建设单位供应的材料、设备的时间等。

5）施工企业年度生产计划对该工程项目的安排和规定的有关指标

如开工、竣工时间及其他项目穿插施工的要求等。

6）施工现场的自然条件

(1) 施工现场条件和地质勘察资料，如施工现场的地形、地貌、地上与地下障碍物，以及水文地质、交通运输道路、施工现场可占用的场地面积等。

(2) 工程所在地的气象资料，如施工期间的最低、最高气温及延续时间，雨季、雨量等。

7）技术经济条件资料

(1) 材料、预制构件及半成品供应情况。主要包括工程所在地的主要建筑材料、构配件、半成品的供货来源，供应方式及运距和运输条件等。

(2) 施工机械设备的供应情况。

(3) 劳动力配备情况。主要有两方面的资料：一方面是企业能提供的劳动力总量和各专业工种的劳动人数；另一方面是工程所在地的劳动力市场情况。

8）预算文件提供的有关数据

预算文件提供了工程量报价清单和预算成本。相关现行规范、规程等资料和相关定额是编制进度计划的主要依据。

14.1.3　单位工程施工组织设计的编制内容

在施工之前，对拟建单位工程从人力、施工方法、材料、机械、资金等“5M”(Man，Method，Material，Mechanical，Money) 方面在时间、空间上做科学合理的安排，保证安全生产、文明施工，以达到优质、低耗、高速的土木工程产品。

单位工程施工组织设计较完整的内容一般包括以下几方面。

(1) 工程概况及施工条件分析。

(2) 施工方案的拟定。

(3) 施工进度计划。

(4) 劳动力、材料、构件和机构设备等资源需要量计划。

(5) 施工准备工作计划。

(6) 施工现场平面布置图。

(7) 保证质量、安全、降低成本等技术措施。

(8) 安全生产、文明施工。

(9) 季节性施工。

(10) 现场环境保护。

(11) 各项技术经济指标。

单位工程施工组织设计各项内容中，施工方案和进度计划主要是指导施工过程的进行，规划整个施工活动。各项各种资源的供应计划、施工平面图的分期布置等必须以施工进度计划为依据。因此，在编制时，应抓住关键环节，同时处理好各方面的相互关系，重点编好施工方案、施工进度计划和施工平面布置图，即常称的“一案、一表、一图”。抓住三个重点，突出技术、时间和空间三大要素。

图 14.1 为单位工程施工组织设计编制的一般程序。

熟悉、审查施工图、调查研究
↓
计算工程量
↓
确定施工方案、施工方法
↓
编制施工进度计划
↓
编制施工、具备需要量计划 | 编制材料、构件、半成品需要计划 | 编制劳动力需要量计划
↓
确定临时生产、生活设施
↓
确定临时供水、供电、供热管线
↓
编制施工准备工作计划
↓
布置施工现场平面图
↓
进行技术经济分析
↓
制订技术安全文明施工措施
↓
审　批

图 14.1　单位工程施工组织设计编制程序

14.2 施工概况和施工方案的选择

14.2.1 工程概况

1. 工程主要情况

与施工组织总设计内容基本相同，但设计概况要另做考虑。

2. 各专业设计简介

(1) 建筑：建筑的规模、功能、特点，建筑的耐火、防水、节能要求及主要装修做法。

(2) 结构：基础及主体结构形式、结构安全等级、抗震设防类别、主要构件类型及要求。

(3) 机电安装：给排水、采暖、通风与空调、电气、智能化、电梯等专业系统的做法及要求。

3. 工程施工条件

与施工组织总设计的内容基本相同。

14.2.2 确定施工方案

施工方案设计是编制单位工程施工组织设计的重点，是整个单位工程施工组织设计的核心内容。施工方案是否恰当合理直接影响工程施工的质量、工期和经济效益，因而，施工方案的设计是非常重要的工作。一个工程的施工方案往往有多种选择，确定施工方案必须从施工项目的特点和施工条件出发，拟定出各种可行的施工方案，进行技术经济分析比较，选择技术可行、工艺先进、经济合理的施工方案。

施工方案主要包括确定施工程序、施工流向和施工顺序、确定主要的分部分项工程施工方法、选择施工机械及确定施工组织方式等内容。

1. 确定施工程序

施工程序是分部工程、专业工程或施工阶段的先后顺序与相互关系。

1) 单位工程的基本施工程序

(1) “先地下，后地上”：地上工程开始前，应尽量把管道、线路等地下设施和土方工程做好或基本完成，以免对地上工程施工产生干扰。

(2) “先土建，后设备”：是指土建与给排水、采暖通风、强弱电、智能工程的关系，应统一考虑、合理穿插，土建要为安装的预留预埋提供方便、创造条件，安装要注意土建的成品保护。

(3) “先主体，后围护”：主要指框架结构在施工程序上的搭接关系，多层民用建筑工程结构与装修以不搭接为宜，而高层建筑则应考虑搭接施工，以有效节约工期。

2）设备基础与厂房基础间的施工程序

（1）当厂房柱基础的埋置深度大于设备基础的埋置深度时，则厂房柱基础先施工，设备基础后施工，俗称“封闭式”施工程序。

（2）当设备基础的埋置深度大于厂房柱基础的埋置深度时，厂房柱基础应与设备基础同时施工，俗称“开敞式”施工程序。

3）设备安装与土建施工间的施工程序

一般机械工业厂房，当主体结构完成后即可进行设备安装；对精密厂房则在装饰工程完成后才进行设备安装，俗称“封闭式”施工程序。

冶金、电厂等重型厂房，常先安装工艺设备，然后建厂房，俗称“开敞式”施工程序。当土建与设备安装同时进行时，俗称“平行式”施工程序。

2. 划分工作段、确定施工起点流向

施工起点流向是指单位工程在平面上和竖向上的施工开始部位和进展方向。单层建筑要确定分段（跨）在平面上的施工流向，多层建筑除确定每层在平面上的施工流向外，还应确定每层或单元在竖向上的施工流向。其决定因素包括以下几方面。

（1）单位工程生产工艺要求。

（2）业主对单位工程投产或交付使用的工期要求。

（3）单位工程各部分复杂程度，一般从复杂部位开始。

（4）单位工程高低层并列，一般从并列处开始。

（5）如基础深度不同，一般先从深基础部分开始。

3. 确定施工顺序

施工顺序是指单位工程内部各分部分项工程之间的先后施工顺序。施工顺序合理与否，将直接影响工种间的配合、工程质量、施工安全、工程成本和施工速度。

各分项工程之间有着客观联系，但也不是一成不变的，确定施工顺序有以下原则。

（1）符合施工工艺及构造要求。

（2）与施工方法及施工机械相协调，如发挥主导施工机械效能。

（3）符合施工组织（工期、人员、机械）的要求。

（4）有利于施工质量和成品保护，如地面、墙面、顶棚抹灰。

（5）考虑气候条件，如室外与室内的装饰装修。

（6）符合安全施工的要求，如装饰与结构施工。

14.3 单位工程施工进度计划安排

单位工程施工进度进度计划是根据规定的工期和各种资源供应条件，对各项施工过程的施工顺序、起止时间和相互衔接关系作出统筹策划和安排。

小型工程可用横道图绘制，大中型工程宜采用时间坐标网络图绘制，计算时间参数，找出关键线路，选择最优方案。

14.3.1　施工进度计划的作用

(1) 控制单位工程的施工进度。

(2) 确定各施工过程的施工顺序、持续时间及相互衔接、配合关系。

(3) 为制订各类资源的需要量及施工准备工作计划提供依据。

(4) 是编制月、旬作业计划的基础。

14.3.2　施工进度计划的编制依据

(1) 经审批的建筑总平面图、施工图及其他技术资料。

(2) 合同工期要求的开工、竣工日期及工期控制点。

(3) 施工组织总设计对本单位工程的有关规定。

(4) 施工条件。包括劳动力、大型施工机械及材料、半成品、构件等资源的供应情况；分包商的实力及履约能力；建筑地区的工程地质、水文、气象等技术经济资料。

(5) 主要分部、分项工程的施工方案。

(6) 工期定额、劳动定额及机械台班定额。

14.3.3　施工进度计划的编制

1. 确定施工过程

首先应按照施工图和施工顺序将单位工程的各施工过程按先后顺序列出，包括从准备工作直到交付使用的所有土建、安装工程，逐项填入表中工程名称栏内。

施工过程的划分取决于进度计划的需要。对控制性进度计划，列出分部分项工程即可。对实施性进度计划，则应细化至施工过程。如现浇工程可先分为柱浇筑、梁浇筑等项目，再细分为支模、扎筋，浇筑混凝土、养护、拆模等项目。

施工过程的划分要结合施工条件、施工方法和劳动组织等因素，凡在同一时间段可由同一施工队完成的若干施工过程即可合并，否则应单列。次要零星项目，可合并为其他工程。

2. 计算工程量

工程量的计算应严格按施工图和工程量计算规则进行。若已有预算文件且施工项目的划分又与施工进度计划一致，则可直接利用其预算工程量；若有某些项目不一致，则应结合工程项目栏的内容计算。计算时要注意以下问题。

(1) 各施工项目的计量单位应与采用的定额单位一致，以便计算劳动量、材料、机械台班时直接套用，避免换算。

(2) 按选定的施工方法和安全技术要求计算工程量。如土方开挖应考虑坑（槽）的挖土方法和边坡稳定的要求。

(3) 要按照施工组织的要求，分区、分段、分层计算工程量。

3. 确定劳动量和机械台班数

各施工过程的劳动量或机械台班数 P 按式（14-1）计算：

$$P=\text{工程量}\ Q/\ \text{人工或机械产量定额} \tag{14-1}$$

4. 确定施工过程的作业天数

完成施工过程的作业天数 T 可按式（14-2）计算：

$$T=\text{劳动量}\ P/(\text{人数或机械台数}\ R\times\text{工作班数}\ b) \tag{14-2}$$

露天或空中交叉作业一般宜采用一班工作制，有利于安全和工程质量；某些须连续施工的施工过程，或工作面狭窄、工期限定等因素可采用两班制或三班制作业。在安排每班劳动人数时，须考虑最小劳动组合、最小工作面和可供安排的人数。

5. 施工进度计划的安排

(1) 首先确定主导分部工程，组织其中的主导分项工程连续施工，将其他分项工程尽可能与主导分项工程穿插配合、搭接或平行作业。

(2) 在主导分项工程中，首先安排主导施工过程，再安排其他施工过程。如现浇混凝土框架结构施工中，它由支模、扎筋、浇筑混凝土、养护、拆模等施工过程组成，应优先安排柱、梁板的支模、扎筋、混凝土浇筑主导施工过程的施工进度，再安排养护、拆模等施工过程的施工进度。

(3) 各分部工程之间按施工顺序或施工组织的要求，将相邻分部工程的分项工程，按流水施工要求或配合关系搭接起来，组成单位工程进度计划的初始方案。

(4) 检查和调整施工进度计划初始方案，绘制正式进度计划。

14.4 资源供应计划的编制

单位工程施工组织设计的施工准备与资源配置计划与施工组织总设计相比，项目划分更细、内容更具体，其指导性、实施性的要求更高。

14.4.1 施工准备工作

主要包括现场准备工作、技术准备工作和施工条件准备工作等。

1. 现场准备工作

(1) 做好土地征用、居民拆迁和现场障碍物拆除工作。

(2) 施工用电、用水、用气、道路、通信、场地平整等“五通一平”工作。

(3) 生产性临建设施（包括混凝土、砂浆搅拌站及钢筋加工、模板加工、仓库、配电房等）和生活性临建设施（包括办公、宿舍、食堂、浴室、厕所等）的规模、位置的确定及搭设。

(4) 施工设备就位（塔式起重机的位置、行走方式，塔式起重机的基础，混凝土搅拌站的工艺布置及后台上料方式）和设备调试。

(5) 施工入口的位置，材料、设备和周转材料的堆场位置及堆放方式，场内交通组织方式确定及道路的施工。

(6) 现场封闭方案（围墙）、七牌一图、防火安全、噪声治理、场地排水及污水处理等。

2. 技术准备工作

(1) 调查施工地区的自然条件、技术经济条件，分析对施工有利和不利的条件及对策。

(2) 组织图样会审，编制施工组织设计报监理审批，安排先期开工的分部分项工程技术交底工作。

(3) 测量控制点的移交，设置永久性坐标桩和水准基桩，建立测量控制网，进行建筑物的定位、放线工作。

(4) 进行混凝土、砂浆配合比的试拌试配工作，对各种试验及检测设备进行检定和校验；对拟采用的新工艺、新材料、新技术进行试验、检验和技术鉴定。

(5) 对施工难度大、技术复杂的分部分项工程（如大体积混凝土、深基础、大跨度结构吊装等），编制单独的施工方案。

(6) 做好冬期、雨期施工的特殊准备工作及工人的进场安全教育。

3. 施工条件准备工作

(1) 按施工段的划分编制分层分段的施工预算和人工、材料供应计划，先期开工的分部分项工程所需劳动力、材料、设备就位。

(2) 与城市规划（定位、验线）、环卫（渣土外运）、城管（临街工程占道）、交通（城市道路开口）、供电（施工用电增容）、供水（开口及装表）、消防（消防通道）、市政（污水排放）等政府部门接洽，尽早办理申请手续和批准手续。

(3) 办理质量、安全监督手续及施工许可证。

(4) 向监理公司提交开工申请报告。

14.4.2　资源配置计划

单位工程施工组织设计一般需编制主要工种劳动力需用量计划、施工机械设备需用量计划、主要材料及构配件需用量计划等，供相关职能部门按计划调配或供应。

1. 劳动力需用量计划

将各分部分项工程所需要的主要工种劳动量叠加，按照施工进度计划的安排，提出每月需要的各工种人数。表14-1为劳动力需用量计划表。

表14-1　劳动力需用量计划表

序　号	工种名称	总工日数	每月人数					
			1	2	3	4	…	12

2. 施工机械设备需用量计划

根据施工方法确定机具类型和型号，按照施工进度计划确定数量和需用时间，提出施工机械设备需用量计划。表 14-2 为施工机械设备需用量计划表。

表 14-2 施工机械设备需用量计划表

序　号	机具名称	型　号	需要量		使用时间
			单　位	数　量	

3. 主要材料及构配件需用量计划

主要材料根据预算定额按分部分项工程计算后分别叠加，构件和配件需用量计划根据施工图样和施工进度计划编制。表 14-3 为主要材料需用量计划表；表 14-4 为构配件需用量计划表。

表 14-3 主要材料需用量计划表

序　号	材料名称	规　格	单　位	数　量	每月需要量					
					1	2	3	4	…	12

表 14-4 构配件需用量计划表

序　号	构（配）件名称	规格图号	单　位	数　量	使用部位	每月需要量				
						1	2	3	…	12

14.5 单位工程施工现场平面图布置

施工平面布置是在拟建工程的建筑平面上（包括周围环境）布置为施工服务的各种临时建筑、临时设施及材料、施工机械等，是施工方案在现场的空间体现。它反映已有建筑与拟建工程间、临时建筑与临时设施间的相互空间关系。布置得恰当与否，执行得好坏，对现场的施工组织、文明施工，以及施工进度、工程成本、工程质量和安全都将产生直接的影响。

施工平面图一般需分施工阶段来编制。如基础阶段施工平面图、主体阶段结构施工平面图、装修阶段工程施工平面图等。施工平面图按照规定的图例进行绘制，一般比例为 1:200 或 1:500。

14.5.1 施工平面布置的内容

(1) 施工场地状况。包括施工入口、施工围挡、与场外道路的衔接；建筑总平面上已建和拟建的地上和地下的一切建（构）筑物及其他设施的位置、轮廓尺寸、层数等。

(2) 生产及生活性临时设施、材料及构件堆场的位置和面积。

(3) 大型施工机械及垂直运输设施的位置，临时水电管网、排水排污设施和临时施工道路的布置等。

(4) 施工现场的安全、消防、保卫和环境保护设施。

(5) 相邻的地上、地下既有建（构）筑物及相关环境。

14.5.2 施工平面布置的原则

(1) 在保证施工顺利进行的前提下，现场布置力求紧凑，以节约土地；市区施工时，临时性占道应获得批准。

(2) 布置临建设施时，不占用拟建工程的位置，避免不必要的搬迁。

(3) 各种材料、半成品、构件应按进度计划分期分批进场，尽量布置在使用点附近，或随运随吊。最大限度缩短工地内部运距，减少场内二次搬运。

(4) 临时设施的布置应有利于生产、方便生活。

(5) 充分利用原有或拟建房屋、道路，尽量减少临时设施的数量，降低临时设施费用。临时建筑采用活动房。

(6) 符合劳动保护、技术安全、防火要求。

14.5.3 施工平面布置的步骤

1. 决定起重机械位置

起重机械的位置直接影响仓库、堆场、砂浆和混凝土搅拌站的布置，因此应首先决定起重机械位置。

井架、龙门架等固定式垂直运送设备的布置，主要是根据机械性能、建筑物的平面形状和大小、施工段的划分、施工道路及材料输送量而定，一要充分发挥机械效率，二要使地面、楼面上的水平运距较短，同时使用方便、安全。

当建筑物高度相同时可布置在施工段分界点附近；当高度不一时可布置在高低并列处，可使各施工段上的水平运输互不干扰。

轨道式起重机的轨道与拟建工程应有最小安全距离，行驶方便，司机视线不受阻碍。

2. 布置搅拌站、仓库、材料和构件堆场

搅拌站、仓库、材料和构件堆场应尽量靠近使用地点或布置在起重机的回转半径内，并兼顾运输和装卸的方便。

1) 不同施工阶段的布置

(1) 基础所使用的材料可沿建筑物四周布置，但需留足安全尺寸，不得因堆料造成

基槽（坑）土壁失稳。上部结构使用的材料应布置在起重机附近，以减少水平搬运。

(2) 当多种材料同时布置时，对大宗的、单位重量大的和先使用的材料应尽量靠近使用地点或起重机附近；对量少、质轻和后期使用的材料则可布置得稍远。

(3) 水泥、砂、石子等大宗材料应环绕搅拌站就近布置。

2) 采用不同起重机械时的布置

(1) 当采用固定式垂直运输设备时，仓库、堆场、搅拌站位置应尽可能靠近起重机械，以减少运距或二次搬运。

(2) 当采用塔式起重机械进行垂直运输时，堆场位置、仓库和搅拌站出料口应位于塔式起重机的有效起重半径内。

(3) 当采用无轨自行式起重机械进行垂直和水平运输时，其搅拌站、堆场和仓库可沿开行路线布置，但其位置应在起重臂的最大外伸长度范围内。

(4) 当浇筑大体积基础混凝土时，搅拌站可直接布置在基坑边缘以减少运距。

(5) 加工棚可布置在拟建工程四周，并考虑木材、钢筋、成品堆放场地。

3. 布置运输道路

现场道路应量利用永久性道路，或先建好永久性道路的路基供施工期使用，在土建工程结束前铺好路面。道路要保证车辆行驶通畅，最好能环绕建筑物布置成环形道路，路宽不小于 3.5m。

4. 布置生活性临时设施

为单位工程服务的生活用临时设施较少，一般仅有办公室、休息室、工具库等。它们的位置应以使用方便、不碍施工、符合防火保安为原则。

5. 布置水电管网

(1) 施工临时用水从业主指定地点接入，场内管网沿施工用水点敷设，管径须经计算确定。供水干管道宜采用暗敷法埋置于地下，若系高层建筑，应考虑高压水泵加压供水。室外消防栓沿道路布置，且距建筑物不小于 5m，距道路不大于 4m，消防栓管径不小于 100mm。为防止供水意外中断，现场应设置简易蓄水池。

(2) 为便于排除地表水和降低地下水，施工现场应设置排水沟，并接通永久性下水道。

(3) 单位工程施工临时供电应在全工地性施工总平面图中统筹考虑。独立的单位工程施工时，根据计算的用电量选用变压器。现场临时供电多采用架空线路，塔式起重机回转半径内采用埋地电缆。

图 14.2 为单位工程施工进度计划编制的一般程序。

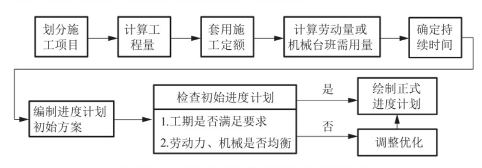


图 14.2　单位工程施工进度计划编制程序

14.5.4 施工平面图管理

施工平面图管理是保证工期、质量、安全和降低成本的重要手段。如图 14.3 所示为某单位工程施工平面布置图。加强施工现场管理对合理使用场地，保证现场运输道路、给水、排水、电路的畅通，建立连续均衡的施工秩序，具有重要意义。一般可采取以下管理措施。

(1) 严格按施工平面图布置道路、水电管网、机具、堆场和临时设施。

(2) 道路、水电应有专人管理维护。

(3) 准备施工阶段和施工过程中应做到工完、料净、场清。

(4) 施工平面图须随着施工的进展及时调整补充，实施动态管理。

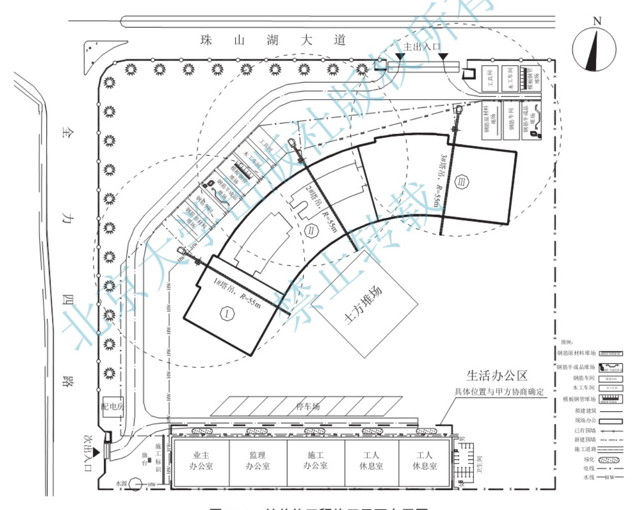


图 14.3 某单位工程施工平面布置图

14.5.5 主要施工管理计划

施工管理计划多以管理和技术措施编制在施工组织设计中，主要施工管理计划一般包括进度管理计划、质量管理计划、安全管理计划、环境管理计划、成本管理计划等内容。

施工管理计划是施工组织设计必不可少的内容，但可根据工程的特点有所侧重或加以取舍。在编制施工组织设计时，各项管理计划一般单独成章。

本章小结

通过本章的学习，掌握单位工程施工组织编制的依据、内容和方法，通过设计实例提高学生处理单位工程施工组织设计问题的能力。

习　　题

一、简答题

1. 单位施工组织设计的编制原则和依据是什么?
2. 单位施工组织设计的内容有哪些?
3. 确定施工顺序应考虑哪些原则?
4. 编制施工进度计划的原则有哪些?
5. 简述施工平面布置的步骤。
6. 如何进行施工平面图的管理?

二、选择题

1. 单位工程施工组织设计应由（　　）负责编制。（2011 二建施工管理考试真题）

A. 建设单位　　B. 监理单位
C. 分包单位　　D. 施工单位

2. 负责组织工程竣工验收的是（　　）。

A. 建设单位　　B. 监理单位　　C. 施工单位　　D. 质量监督部门

3. 主持施工图样会审工作的人可能是（　　）。

A. 工程主设计人　　B. 专业监理工程师
C. 甲方驻工地代表　　D. 施工单位技术负责人

4. 施工程序中，决定了工期、质量、成本和施工企业的经济效益的最重要的一个阶段是（　　）。（2012 二建施工管理考试真题）

A. 承接任务　　B. 施工规划
C. 施工准备　　D. 组织施工

5. 单位工程施工组织设计编制程序中，以下几项顺序正确的是（　　）。（2012 二建施工管理考试真题）

A. 施工进度计划→施工方案→施工平面图
B. 施工方案→施工进度计划→施工平面图

C. 施工进度计划→施工平面图→施工方案

D. 划分工序→计算持续时间→绘制初始方案→确定关键线路

6. 单位工程施工组织设计的工程概况应包括（　）。

A. 施工程序　　B. 施工方法

C. 施工条件　　D. 进度计划

7. 下列选项中，（　）是单位工程施工组织设计的核心。(2013 二建施工管理考试真题)

A. 工程概况　　B. 施工方案

C. 施工平面图　　D. 施工进度计划

8. 单位工程施工组织设计中，施工方案包括以下的（　）。(2013 二建施工管理考试模拟真题)

A. 编制进度计划　　B. 选择主要施工方法

C. 确定基本建设程序　　D. 进行技术经济分析

参考文献

[1] 中华人民共和国国家标准 . 建筑工程施工质量验收统一标准（GB 50300—2013）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.

[2] 建筑施工手册编写组 . 建筑施工手册 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.

[3] 应惠清 . 土木工程施工 [M]. 上海：同济大学出版社，2013.

[4] 李书全 . 土木工程施工 [M]. 上海：同济大学出版社，2013 .

[5] 毛鹤琴 . 土木工程施工 [M]. 武汉：武汉工业大学出版社，2000.

[6] 中国机械工业教育协会组 . 钢筋混凝土结构及砌体结构 [M]. 北京：机械工业出版社，2001.

[7] 郭正兴 . 土木工程施工 [M]. 南京：东南大学出版社，2007.

[8] 邓寿昌，李晓目 . 土木工程施工 [M]. 北京：北京大学出版社，2004.

[9] 刘宗仁 . 土木工程施工 [M]. 北京：高等教育出版社，2003.

[10] 姚刚 . 土木工程施工技术 [M]. 北京：人民交通出版社，2000.

[11] 东南大学，等 . 混凝土结构（上册）——混凝土结构设计原理 [M]. 5 版 . 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[12] 莫海鸿，杨小平 . 基础工程 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2003.

[13] 中华人民共和国行业标准 . 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范（JGJ 130—2011）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

[14] 姜玉松 . 地下工程施工技术 [M]. 武汉：武汉工业大学出版社，2008.

[15] 中华人民共和国国家标准 . 混凝土结构设计规范（GB 50010—2010）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2010.

[16] 中国建筑标准设计研究院 . 混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图（11G101—1）[S]. 北京：中国计划出版社，2011.

[17] 中华人民共和国国家标准 . 建筑地基基础工程施工质量验收规范（GB 50202—2012）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[18] 中华人民共和国国家标准 . 屋面工程技术规范（GB 50345—2012）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[19] 中国建筑业协会，建筑机械设备管理分会 . 简明建筑施工机械实用手册 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2003.

[20] 江正荣 . 建筑施工计算手册 [M]. 2 版 . 北京：中国建筑工业出版社，2007.

[21] 《建设工程项目管理规范》编写委员会 . 建设工程项目管理规范实施手册 [M]. 2 版 . 北京：中国建筑工业出版社，2006.

[22] 严微 . 土木工程项目管理与施工组织设计 [M]. 北京：人民交通出版社，2008.

[23] 中华人民共和国国家标准 . 混凝土结构工程施工质量验收规范（GB 50204—2012）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[24] 中华人民共和国国家标准 . 建筑结构荷载规范（GB 50009—2012）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[25] 江正荣，朱国梁 . 简明施工手册 [M]. 2 版 . 北京：中国建筑工业出版社，2009.

[26] 邢莉燕，陈起俊 . 工程估价 [M]. 北京：中国电力出版社，2008.

[27] 中华人民共和国劳动和劳动安全行业标准 . 建设工程劳动定额：装饰工程（LD/T 73. 1—4—2013）[S]. 北京：中国计划出版社，2008.

附录1

落地钢管脚手架施工方案编制要点

1. 工程概况

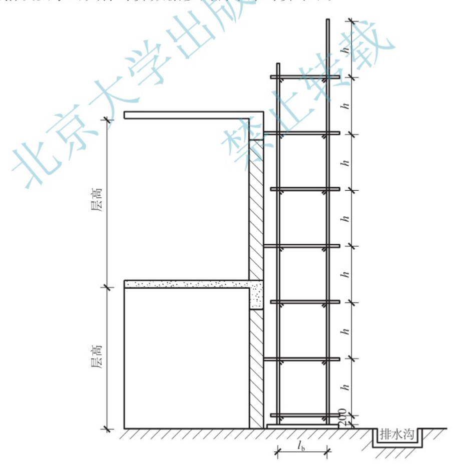
框架结构；地上 2 层；建筑高度 12m。

2. 脚手架搭设流程及要求

落地脚手架搭设的工艺流程：场地平整、夯实→基础承载力试验、材料配备→定位设置通长脚手板、底座→纵向扫地杆→立杆→横向扫地杆→小横杆→大横杆（格栅）→剪刀撑→连墙件→铺脚手板→扎防护栏杆→扎安全网。

1）主杆基础

本工程脚手架的基础部位应在回填土完后夯实，采用强度等级不低于 C15 的混凝土进行硬化，混凝土硬化厚度不小于 10cm，如附图 1.1 所示。地基承载能力能够满足外脚手架的搭设要求（具体计算数据参阅脚手架计算书）。



附图 1.1　脚手架主杆基础设置示意图

2）立杆间距

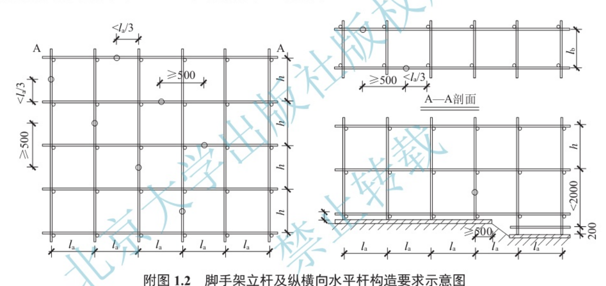
(1) 脚手架立杆纵距 1.5m，横距 1.05m，步距 1.8m；连墙杆间距竖直 3.6m，水平 4.5m（即两步三跨）；里立杆距建筑物 0.3m。

(2) 脚手架的底部立杆采用不同长度的钢管参差布置，使钢管立杆的对接接头交错布置，高度方向相互错开 500mm 以上，且要求相邻接头不应在同步同跨内，以保证脚手架的整体性。

(3) 立杆应设置垫木，并设置纵横方向扫地杆，连接于立脚点杆上，离底座 20cm 左右。

(4) 立杆的垂直偏差应控制在不大于架高的 1/400。

(5) 立杆及纵横向水平杆构造要求：脚手架必须设置纵横向扫地杆。纵向扫地杆应采用直角扣件固定在距底座上皮不大于 200mm 处的立杆上。横向扫地杆也应采用直角扣件固定在紧靠纵向扫地杆下方的立杆上。当立杆基础不在同一高度上时，必须将高处的纵向扫地杆向低处延长两跨与立杆固定，高低差不应大于 1m。靠边坡上方的立杆轴线到边坡的距离不应小于 500mm，如附图 1.2 所示。



附图 1.2　脚手架立杆及纵横向水平杆构造要求示意图

3）大横杆、小横杆设置

(1) 大横杆在脚手架高度方向的间距 1.8m，以便立网挂设，大横杆置于立杆里面，每侧外伸长度为 150mm。

(2) 外架子按立杆与大横杆交点处设置小横杆，两端固定在立杆，以形成空间结构整体受力。

4）剪刀撑

脚手架外侧立面的两端各设置一道剪刀撑，并应由底至顶连续设置；中间各道剪刀撑之间的净距离不应大于 15m。剪刀撑斜杆的接长宜采用搭接，搭接长度不小于 1m，应采用不少于 2 个旋转扣件固定。剪刀撑斜杆应用旋转扣件固定在与之相交的横向水平杆的伸出端或立杆上，旋转扣件中心线离主节点的距离不宜大于 150mm。

5）脚手板、脚手片的铺设要求

(1) 脚手架里排立杆与结构层之间均应铺设木板：板宽为 200mm，里外立杆间应满铺脚手板，无探头板。

(2) 满铺层脚手片必须垂直墙面横向铺设，满铺到位，不留空位；不能满铺处必须采取有效的防护措施。

(3) 脚手片需用12～14#铅丝双股并联绑扎，不少于4点，要求绑扎牢固，交接处平整，铺设时要选用完好无损的脚手片，发现有破损的要及时更换。

6) 防护栏杆

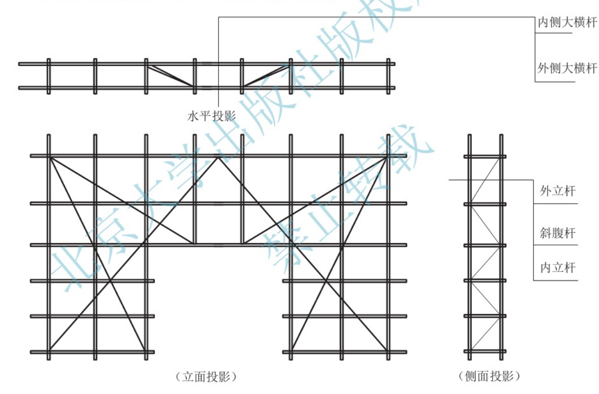
(1) 脚手架外侧使用建设主管部门认证的合格绿色密目式安全网封闭，且将安全网固定在脚手架外立杆里侧。

(2) 选用18#铅丝张挂安全网，要求严密、平整。

(3) 脚手架外侧必须设1.2m高的防护栏杆和30cm高踢脚杆，顶排防护栏杆不少于2道，高度分别为0.9m和1.3m。

(4) 脚手架内侧形成临边的（如遇大开间门窗洞等），在脚手架内侧设1.2m的防护栏杆和30cm高踢脚杆。

(5) 脚手架上门洞、出入口构造示意图如附图1.3所示。



附图1.3 门洞桁架构造示意图

7) 连墙件

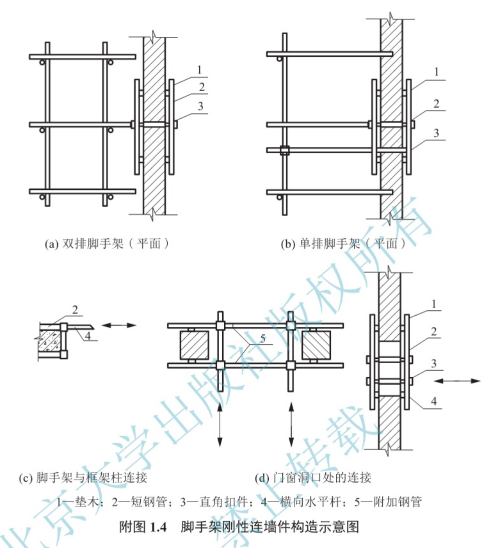
(1) 脚手架与建筑物按计算书中连墙件布置要求设拉结点。楼层高度超过4m，则在水平方向加密，如楼层高度超过6m时，则按水平方向每6m设置一道斜拉钢丝绳。

(2) 拉结点在转角范围内和顶部处加密，即在转角1m以内范围按垂直方向每3.6m设一拉结点。

(3) 拉结点应保证牢固，防止其移动变形，且尽量设置在外架大小横杆接点处。

(4) 外墙装饰阶段拉结点，也需满足上述要求。确因施工需要除去原拉结点时，必须重新补设可靠、有效的临时拉结点，以确保外架安全可靠。

(5) 连墙件构造示意图如附图 1.4 所示。



1—垫木；2—短钢管；3—直角扣件；4—横向水平杆；5—附加钢管

附图 1.4　脚手架刚性连墙件构造示意图

8) 架体内封闭

(1) 脚手架的架体里立杆距墙体净距最多为 200mm，如因结构设计的限制大于 200mm 的必须铺设站人板，站人板设置应平整牢固。

(2) 脚手架施工层里立杆与建筑物之间应采用脚手片或木板进行封闭。

(3) 施工层以下外架每隔 3 步以及底部用密目网或其他措施进行封闭。

3. 脚手架计算书

1) 钢管落地脚手架相关参数

(1) 脚手架参数。

①双排脚手架搭设高度为 12 m，立杆采用单立管。

②搭设尺寸为立杆的横距为 1.05m，立杆的纵距为 1.5m，大小横杆的步距为 1.8 m。

③内排架距离墙长度为 0.30m。

④大横杆在上，搭接在小横杆上的大横杆根数为 2 根。

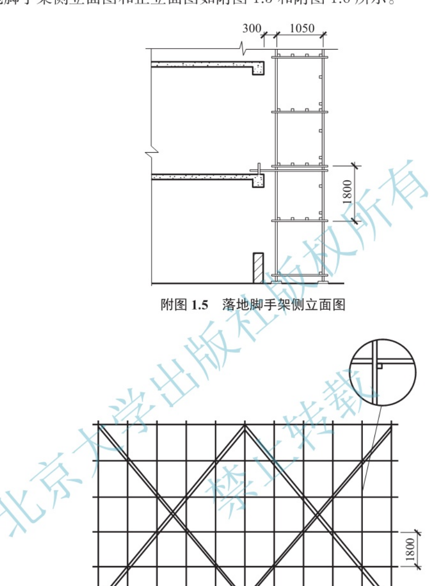
⑤采用的钢管类型为ϕ48×3.2。

⑥横杆与立杆连接方式为单扣件，取扣件抗滑承载力系数为 1.00。

⑦连墙件采用两步三跨，竖向间距 3.6 m，水平间距 4.5 m，采用扣件连接。

⑧连墙件连接方式为双扣件。

落地脚手架侧立面图和正立面图如附图 1.5 和附图 1.6 所示。



附图 1.5　落地脚手架侧立面图

附图 1.6　单立杆落地脚手架正立面图

(2) 活荷载参数。

①施工均布活荷载标准值为 2.000 kN/m^2；脚手架用途为装修脚手架。

②同时施工层数：2 层。

(3) 风荷载参数。

①本工程地处浙江杭州市，基本风压 0.45 kN/m^2。

②风荷载高度变化系数 μ_z 为 1.00，风荷载体型系数 μ_s 为 1.13。

③脚手架计算中考虑风荷载作用。

(4) 静荷载参数。

①每米立杆承受的结构自重标准值为 0.1248kN/m。

②脚手板自重标准值为 0.300kN/m^2；栏杆挡脚板自重标准值为 0.150kN/m。

③安全设施与安全网为 0.005kN/m^2。

④脚手板类别为竹笆片脚手板；栏杆挡板类别为栏杆、竹笆片脚手板挡板。

⑤每米脚手架钢管自重标准值为 0.035kN/m。

⑥脚手板铺设总层数为 4 层。

(5) 地基参数。

①地基土类型为素填土；地基承载力标准值为 120.00kPa。

②立杆基础底面面积为 0.20m^2；地基承载力调整系数为 1.00。

2) 大横杆的计算

按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011) 第 5.2.4 条规定，大横杆按照三跨连续梁进行强度和挠度计算，大横杆在小横杆的上面。将大横杆上面的脚手板自重和施工活荷载作为均布荷载计算大横杆的最大弯矩和变形。

(1) 均布荷载值计算。

大横杆的自重标准值：P_1=0.035 kN/m

脚手板的自重标准值：P_2=0.3×1.5/(2+1)=0.105(kN/m)

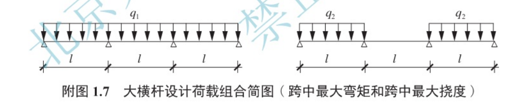
活荷载标准值：Q=2×1.5/(2+1)=0.7(kN/m)

静荷载的设计值：q_1=1.2×0.035+1.2×0.105=0.168(kN/m)

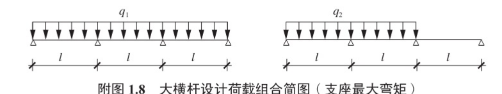
活荷载的设计值：q_2=1.4×0.7=0.98(kN/m)

(2) 强度验算。

跨中和支座最大弯矩分别按附图 1.7、附图 1.8 组合。



附图 1.7　大横杆设计荷载组合简图（跨中最大弯矩和跨中最大挠度）



附图 1.8　大横杆设计荷载组合简图（支座最大弯矩）

跨中最大弯矩计算公式如下：

$$M_{1\max} = 0.08q_1l^2 + 0.10q_2l^2$$

跨中最大弯矩：$M_{1\max}$=0.08×0.168×1.5^2+0.10×0.98×1.5^2 =0.251(kN•m)

支座最大弯矩计算公式如下：

$$M_{2\max} = -0.10q_1l^2 - 0.117q_2l^2$$

支座最大弯矩：$M_{2\max}$= −0.10×0.168×1.5^2−0.117×0.98×1.5^2 = −0.296(kN•m)

选择支座弯矩和跨中弯矩的最大值进行强度验算：

$$\sigma=\mathrm{Max}(0.251\times10^{6},\ 0.296\times10^{6})/4730=62.579(\mathrm{N/mm^{2}})$$

大横杆的最大弯曲应力 σ=62.579 N/mm^2 小于大横杆的抗压强度设计值 $[f]$=205N/mm^2，满足要求。

(3) 挠度验算。

最大挠度考虑为三跨连续梁均布荷载作用下的挠度。

计算公式如下：

$$v_{\max}=0.677\frac{q_1 l^4}{100EI}+0.990\frac{q_2 l^4}{100EI}$$

其中　静荷载标准值：$q_1= P_1+P_2$=0.035+0.105=0.14(kN/m)

　　　活荷载标准值：$q_2= Q$ =0.7 kN/m

最大挠度计算值：$\nu = 0.677\times0.14\times1500^4/(100\times2.06\times10^5\times121900)+0.990\times0.7\times1500^4/(100\times2.06\times10^5\times121900) = 1.705$(mm)

大横杆的最大挠度 1.705 mm 小于大横杆的最大容许挠度 （1500/150 ）mm 与 10 mm，满足要求。

3) 小横杆的计算

根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011)(以下简称《扣件式规范》)第 5.2.4 条的规定，小横杆按照简支梁进行强度和挠度计算，大横杆在小横杆的上面。用大横杆支座的最大反力计算值作为小横杆集中荷载，在最不利荷载布置下计算小横杆的最大弯矩和变形计算简图如附图 1.9 所示。

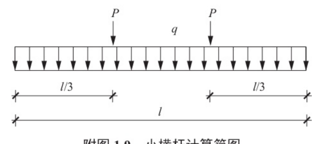
(1) 荷载值计算。

大横杆的自重标准值：P_1= 0.035×1.5 = 0.053(kN)

脚手板的自重标准值：P_2=0.3×1.05×1.5/(2+1)=0.158(kN)

活荷载标准值：Q =2×1.05×1.5/(2+1) =1.050(kN)

集中荷载的设计值：P=1.2×(0.053+0.158)+1.4 ×1.05 = 1.723(kN)



附图 1.9　小横杆计算简图

(2) 强度验算。

最大弯矩考虑为小横杆自重均布荷载与大横杆传递荷载的标准值最不利分配的弯矩之和。

均布荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{q\max}=ql^2/8$$

均布荷载最大弯矩：$M_{q\max} = 1.2\times0.035\times1.05^2/8 = 0.006$（kN•m）

集中荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{P\max} = \frac{Pl}{3}$$

集中荷载最大弯矩：$M_{P\max} = 1.723\times1.05/3 = 0.603$（kN•m）

最大弯矩：$M = M_{q\max} + M_{P\max} = 0.609$ kN•m

最大应力计算值：$\sigma = M / W = 0.609\times10^6/4730=128.712$（N/mm）^{2}

小横杆的最大弯曲应力 σ =128.712 N/mm^2 小于小横杆的抗压强度设计值 205 N/mm^2，满足要求。

（3）挠度验算。

最大挠度考虑为小横杆自重均布荷载与大横杆传递荷载的设计值最不利分配的挠度和。

小横杆自重均布荷载引起的最大挠度计算公式如下：

$$v_{q\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

小横杆自重均布荷载引起的最大挠度：$v_{q\max}$ =5×0.035×1050^4/（384×2.06×10^5× 121900）= 0.024（mm）

大横杆传递荷载：$P = P_1 + P_2 + Q$ = 0.053+0.158+1.05 = 1.261（kN）

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度计算公式如下：

$$v_{P\max} = \frac{Pl(3l^2 - 4l^2/9)}{72EI}$$

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度：$v_{P\max}$ = 1260.6×1050×（3×1050^2−4×1050^2/9）/（72×2.06×10^5×121900）= 2.213（mm）

最大挠度和：$v = v_{q\max} + v_{P\max}$ = 0.024+2.213 = 2.237（mm）

小横杆的最大挠度 v = 2.237mm 小于小横杆的最大容许挠度 1050/150=7（mm）与 10mm，满足要求。

4）扣件抗滑力的计算

根据《扣件式规范》（JGJ 130—2011）第 5.1.7 条的规定，直角、旋转单扣件承载力取值为 8.00kN，按照扣件抗滑承载力系数 1.00，该工程实际的旋转单扣件承载力取值为 8.00kN。

纵向或横向水平杆与立杆连接时，扣件的抗滑承载力按照下式计算（规范第 5.2.5 条）：

$$R \leqslant R_c$$

式中　R_c —— 扣件抗滑承载力设计值，取 8.00 kN；

　　R —— 纵向或横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值。

大横杆的自重标准值：P_1 = 0.035×1.5×2/2=0.053（kN）

小横杆的自重标准值：P_2 = 0.035×1.05/2=0.019（kN）

脚手板的自重标准值：P_3 = 0.3×1.05×1.5/2=0.236（kN）

活荷载标准值：Q = 2×1.05×1.5 /2 = 1.575（kN）

荷载的设计值：R=1.2×（0.053+0.019+0.236）+1.4×1.575=2.575（kN）

$R < 8.00$ kN，单扣件抗滑承载力的设计计算满足要求。

5）脚手架立杆荷载计算

作用于脚手架的荷载包括静荷载、活荷载和风荷载。静荷载标准值包括以下内容。

（1）每米立杆承受的结构自重标准值，为 0.1248kN/m。

$$N_{G1} = [0.1248+(1.50\times2/2)\times0.035/1.80]\times12.00 = 1.852(\text{kN})$$

（2）脚手板的自重标准值：采用竹笆片脚手板，标准值为 0.3kN/m^2。

$$N_{G2}= 0.3\times4\times1.5\times(1.05+0.3)/2 = 1.215(\text{kN})$$

（3）栏杆与挡脚手板自重标准值：采用栏杆、竹笆片脚手板挡板，标准值为 0.15kN/m。

$$N_{G3} = 0.15\times4\times1.5/2 = 0.45(\text{kN})$$

（4）吊挂的安全设施荷载，包括安全网，标准值为 0.005 kN/m^2。

$$N_{G4} = 0.005\times1.5\times12 = 0.09(\text{kN})$$

经计算得到，静荷载标准值：

$$N_G =N_{G1}+N_{G2}+N_{G3}+N_{G4} = 3.607(\text{kN})$$

活荷载为施工荷载标准值产生的轴向力总和，立杆按一纵距内施工荷载总和的 1/2 取值。

经计算得到，活荷载标准值：

$$N_Q= 2\times1.05\times1.5\times2/2 = 3.15(\text{kN})$$

风荷载标准值按照以下公式计算：

$$W_k = 0.7U_zU_sW_0$$

式中 W_0——基本风压（kN/m^2），按照《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）的规定采用，$W_0 = 0.45$ kN/m^2；

U_z——风荷载高度变化系数，按照《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）的规定采用，$U_z= 1$；

U_s——风荷载体型系数，取值为 1.13。

经计算得到，风荷载标准值：

$$W_k = 0.7 \times0.45\times1\times1.13 = 0.356(\text{kN/m}^2)$$

不考虑风荷载时，立杆的轴向压力设计值计算公式：

$$N = 1.2N_G+1.4N_Q= 1.2\times3.607+ 1.4\times3.15= 8.738(\text{kN})$$

考虑风荷载时，立杆的轴向压力设计值：

$$N = 1.2N_G+0.85\times1.4N_Q = 1.2\times3.607+ 0.85\times1.4\times3.15= 8.076(\text{kN})$$

风荷载设计值产生的立杆段弯矩 M_w：

$$M_w = 0.85 \times1.4W_kl_ah^2/10 =0.850 \times1.4\times0.356\times1.5\times1.8^2/10 = 0.206(\text{kN·m})$$

6）立杆的稳定性计算

（1）不考虑风荷载时，立杆的稳定性计算公式为：

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leqslant [f]$$

立杆的轴向压力设计值：$N = 8.738$ kN

计算立杆的截面回转半径：$i = 1.59$ cm

计算长度附加系数参照《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 表 5.3.3 得：$k = 1.155$；当验算杆件长细比时，取 1.0

计算长度系数参照《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 表 5.3.3 得：$\mu = 1.5$

计算长度，由公式 $l_0 = k\mu h$ 确定：$l_0 = 3.118$ m

长细比：$l_0/i = 196$

轴心受压立杆的稳定系数 ϕ，由长细比 l_0/i 的计算结果查表得到：ϕ=0.188

立杆净截面面积：$A = 4.5\ \text{cm}^2$

立杆净截面模量（抵抗矩）：$W = 4.73\ \text{cm}^3$

钢管立杆抗压强度设计值：$[f]$ =205 N/mm^2

不考虑风荷载，立杆的稳定性：$\sigma = 8738/(0.188\times450) = 103.285\ (\text{N/mm}^2)$

立杆稳定性计算 σ= 103.285 N/mm^2 小于立杆的抗压强度设计值 $[f]$ = 205 N/mm^2，满足要求。

(2) 考虑风荷载时，立杆的稳定性计算公式为：

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} + \frac{M_{\text{w}}}{W} \leqslant [f]$$

立杆的轴心压力设计值：$N = 8.076$ kN

计算立杆的截面回转半径：$i = 1.59$ cm

计算长度附加系数参照《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 表 5.3.3 得：$k = 1.155$

计算长度系数参照《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 表 5.3.3 得：$\mu = 1.5$

计算长度，由公式 $l_0 = kuh$ 确定：$l_0 = 3.118$ m

长细比：$l_0/i = 196$

轴心受压立杆的稳定系数 ϕ，由长细比 l_0/i 的结果查表得到：ϕ= 0.188

立杆净截面面积：$A = 4.5\ \text{cm}^2$

立杆净截面模量（抵抗矩）：$W = 4.73\ \text{cm}^3$

钢管立杆抗压强度设计值：$[f]$ =205 N/mm^2

考虑风荷载，立杆的稳定性：$\sigma = 8076.42/(0.188\times450)+205860.123/4730 = 138.988\ (\text{N/mm}^2)$

立杆稳定性计算 $\sigma = 138.988$ N/mm^2 小于立杆的抗压强度设计值 $[f]$ = 205 N/mm^2，满足要求。

7) 最大搭设高度的计算

(1) 按《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 第 5.3.6 条不考虑风荷载时，采用单立管的敞开式、全封闭和半封闭的脚手架可搭设高度按照下式计算：

$$H_{\text{s}} = \frac{\phi Af - (1.2N_{G2\text{k}} + 1.4\sum N_{Q\text{k}})}{1.2g_{\text{k}}}$$

构配件自重标准值产生的轴向力 $N_{G2\text{k}}$(kN) 计算公式为：

$$N_{G2\text{k}} = N_{G2}+N_{G3}+N_{G4} = 1.755\ (\text{kN})$$

活荷载标准值：$N_Q = 3.15$ kN

每米立杆承受的结构自重标准值：$g_k = 0.125$ kN/m

脚手架搭设高度：H_s =[0.188×4.5×10^{-4}×205×10^3−(1.2×1.755+1.4×3.15)]/(1.2×0.125)= 72.296(m)

按《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 第 5.3.6 条脚手架搭设高度 H_s 不小于 26m，按照下式调整且不超过 50m：

$$[H] = \frac{H_s}{1 + 0.001H_s}$$

调整后的脚手架搭设高度：[H] = 72.296 / (1+0.001×72.296)=67.421(m)

[H]= 67.421m 和 50m 比较取较小值。经计算得到，脚手架搭设高度限值 [H] =50m。

脚手架单立杆搭设高度为 12m，小于 [H]，满足要求。

(2) 按《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 第 5.3.6 条考虑风荷载时，采用单立管的敞开式、全封闭和半封闭的脚手架可搭设高度按照下式计算：

$$H_s = \frac{\phi Af - \left[1.2N_{G2k} + 0.85 \times 1.4(\sum N_{Qk} + \frac{M_{wk}}{W}\phi A)\right]}{1.2g_k}$$

构配件自重标准值产生的轴向力 N_{G2k} (kN) 计算公式为：

$$N_{G2k} = N_{G2}+N_{G3}+N_{G4} = 1.755 \text{ (kN)}$$

活荷载标准值：$N_Q = 3.15$ kN

每米立杆承受的结构自重标准值：$g_k = 0.125$ kN/m

计算立杆段由风荷载标准值产生的弯矩：M_{wk}=M_w / (1.4×0.85) = 0.206 /(1.4 × 0.85) = 0.173(kN•m)

脚手架搭设高度：H_s ={0.188×4.5×10^{-4}×205×10^3−[1.2×1.755+0.85×1.4× (3.15+0.188× 4.5×100×0.173/4.73)]}/(1.2×0.125)=52.127(m)

按《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 第 5.3.6 条脚手架搭设高度 H_s 不小于 26m，按照下式调整且不超过 50m：

$$[H] = \frac{H_s}{1 + 0.001H_s}$$

调整后的脚手架搭设高度：[H] = 52.127 / (1+0.001×52.127)=49.544(m)

[H]= 49.544m 和 50m 比较取较小值。经计算得到，脚手架搭设高度限值 [H] =49.544 m。

脚手架单立杆搭设高度为 12m，小于 [H]，满足要求。

8) 连墙件的稳定性计算

连墙件的轴向力设计值应按照下式计算：

$$N_l = N_{lw} + N_0$$

风荷载标准值：$W_k = 0.356$ kN/m^2

每个连墙件的覆盖面积内脚手架外侧的迎风面积：$A_w = 16.2$ m^2

按《扣件式规范》(JGJ 130—2011) 第 5.4.1 条，连墙件约束脚手架平面外变形所产生的轴向力 N_0= 5.000 kN

风荷载产生的连墙件轴向力设计值（kN），按照下式计算：

$$N_{lw} = 1.4 \times W_k \times A_w = 8.073\,(\mathrm{kN})$$

连墙件的轴向力设计值：$N_l = N_{lw} + N_0 = 13.073\,(\mathrm{kN})$

连墙件承载力设计值按下式计算：

$$N_f = \phi A[f]$$

式中　ϕ——轴心受压立杆的稳定系数。

由长细比 $l/i = 300/15.9$ 的结果查表得到 $\phi = 0.949$（l 为内排架距离墙的长度）

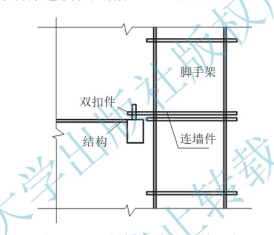
连接件净截面面积：$A = 4.5\ \mathrm{cm}^2$

连接件抗压强度设计值：$[f] = 205\ \mathrm{N/mm}^2$

连墙件轴向承载力设计值：$N_f = 0.949 \times 4.5 \times 10^{-4} \times 205 \times 10^3 = 87.545\,(\mathrm{kN})$

$N_l = 13.073\mathrm{kN} < N_f = 87.545\mathrm{kN}$，连墙件的设计计算满足要求。

连墙件采用双扣件与墙体连接，如附图 1.10 所示。



附图 1.10　连墙件双扣件连接示意图

由《扣件式规范》（JGJ 130—2011）表 5.1.7 中可查出，直角和旋转扣件的抗滑承载力设计值为 8 kN，故而，由以上计算得到 $N_l = 13.073\mathrm{kN}$，小于双扣件的抗滑力 16 kN，满足要求。

9）立杆的地基承载力计算

立杆基础底面的平均压力应满足下式的要求：

$$p \leqslant f_g$$

地基承载力设计值：

$$f_g = f_{gk} \times k_c = 120\ \mathrm{kPa}$$

其中，地基承载力标准值：$f_{gk} = 120\ \mathrm{kPa}$

脚手架地基承载力调整系数：$k_c = 1$

其中，立杆的轴向力设计值，即是上部结构传至基础顶面的轴向力设计值：$N = 8.738$ kN

基础底面面积：$A = 0.2\ \mathrm{m}^2$

立杆基础底面的平均压力：$p = N/A = 43.69\ \mathrm{kPa}$

$p = 43.69\ \mathrm{kPa} \leqslant f_g = 120\ \mathrm{kPa}$，地基承载力满足要求。

附录 2

塔式起重机施工方案编制要点

1. 工程概况及地形地貌

地下一层，地上十一层，高度为 35.000m，建筑长度为 45m、宽度为 28m。

2. 塔式起重机的选择

选用 C5013.35A 塔式起重机，臂长 48m，臂端的起重量为 0.8t，最大起重量为 6t，塔身宽度 B=1.5m。

3. 施工顺序

定位放线→基础土石方开挖→摊座检底→垫层施工→预埋螺栓放线→地板筋绑扎→钢筋固定架焊接就位→面层筋绑扎→预埋螺栓及塔式起重机底盘安装→预埋螺栓固定及丝口保护→拉结筋安装→验收→混凝土浇筑→养护→塔式起重机安装。

4. 塔机安装步骤

(1) 校正底架水平，其倾斜角度不大于 1‰，紧固底架螺栓。

(2) 安装基础节及一节标准节。

(3) 将爬升套装在塔节外（注意将套架有油缸一面对准塔节有踏步一面）。

(4) 安装回转支承机构（注意装好开口销）。

(5) 吊装塔帽。

(6) 装司机室，接好电源。

(7) 安装平衡臂，并装上两块尾配重。

(8) 吊装起重臂（在地面上拼好后整体吊装）。

(9) 吊装平衡块。

(10) 穿绕钢丝绳。

(11) 检查机械连接开口销及螺栓拧紧度及电器和液压部分无误后开始塔机顶升加节作业。

(12) 顶升时必须注意塔机前后平衡，爬升套升空后严禁塔机回转动作。

(13) 顶升作业结束后，调塔机起重限位、升高限位、小车变幅限位、力矩限位等，符合要求后重复步骤 (11)，检查一遍。

(14) 焊接接地装置。

(15) 交付验收。

5. 塔式起重机基础计算书

1) 参数信息

塔式起重机型号：C5013.35A，自重（包括压重）F_1=450.80kN，最大起重荷载 F_2=60.00kN，

塔式起重机倾覆力矩 M=630.00kN•m，塔式起重机起重高度为 90.00m，塔身宽度 B=1.50m，混凝土强度等级：C35，基础埋深 D=5.00m，基础最小厚度 h=1.4m，基础最小宽度 B_c=5.00m。

2）基础最小尺寸计算

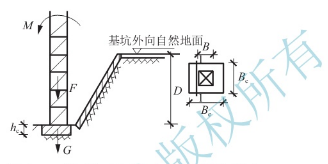
（1）基础的最小厚度取：H=1.4m。

（2）基础的最小宽度取：B_c=5.00m。

3）塔式起重机基础承载力计算

依据《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2012）第 5.2 条承载力计算。

计算简图如附图 2.1 所示。



附图 2.1　塔式起重机基础承载力计算简图

当不考虑附着时的基础设计值计算公式：

$$P_{max}=\frac{F+G}{B_c^2}+\frac{M}{W} \qquad P_{min}=\frac{F+G}{B_c^2}-\frac{M}{W}$$

当考虑附着时的基础设计值计算公式：

$$P=\frac{F+G}{B_c^2}$$

当考虑偏心距较大时的基础设计值计算公式：

$$P_{kmax}=\frac{2(F+G)}{3B_c a}$$

式中　F——塔式起重机作用于基础的竖向力，它包括塔式起重机自重、压重和最大起重荷载，F=1.2×510.8=612.96(kN)；

G——基础自重与基础上面的土的自重，G=1.2×(25.0×B_c×B_c×H_c+20.0×B_c×B_c×D)=4012.50(kN)；

B_c——基础底面的宽度，取 B_c=5.00m；

W——基础底面的抵抗矩，W=B_c×B_c×B_c/6=20.83(m^3)；

M——倾覆力矩，包括风荷载产生的力矩和最大起重力矩，M=1.4×630.00=882.00(kN•m)；

a——合力作用点至基础底面最大压力边缘距离（m），按下式计算：

$$a=\frac{B_c}{2}-\frac{M}{F+G}$$

$$a=5.00/2-882.00/(612.96+4012.50)=2.31(m)$$

经过计算得到：

无附着的最大压力设计值：

$$P_{max}=(612.96+4012.50)/5.002+882.00/20.83=227.35(kPa)$$

无附着的最小压力设计值：

$$P_{min}=(612.96+4012.50)/5.002-882.00/20.83=142.68(kPa)$$

有附着的压力设计值：

$$P=(612.96+4012.50)/5.002=185.02(kPa)$$

偏心距较大时压力设计值：

$$P_{kmax}=2\times(612.96+4012.50)/(3\times5.00\times2.31)=267.06(kPa)$$

6. 地基基础承载力验算

地基承载力设计值为：f_a=270.00kPa

地基承载力特征值 f_a 大于最大压力设计值：P_{max}=227.35kPa，满足要求。

地基承载力特征值：$1.2f_a$ 大于偏心距较大时的压力设计值 P_{kmax}=267.06kPa，满足要求。

7. 受冲切承载力验算

依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2012) 第 8.2.7 条，验算公式如下：

$$F_l \leqslant 0.7\beta_{hp} f_t a_m h_0$$

式中 β_{hp}——受冲切承载力截面高度影响系数，取 β_{hp}=0.95；

f_t——混凝土轴心抗拉强度设计值，取 f_t=1.57kPa；

a_m——冲切破坏锥体最不利一侧计算长度，$a_m=(a_t+a_b)/2$，则 a_m=[1.50+(1.50+2×1.35)]/2=2.85(m)；

h_0——承台的有效高度，取 h_0=1.3m；

P_j——最大压力设计值，取 P_j=267.06kPa；

F_l——实际冲切承载力，$F_l=P_j+A_i$。

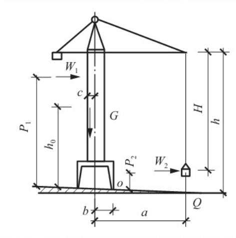
$$F_l=267.06\times(5.00+4.20)\times0.40/2=491.39(kN)$$

允许冲切力：0.7×0.95×1.57×2850×1300=3868205.25(N)=3868.21kN

实际冲切力不大于允许冲切力设计值，所以能满足要求。

8. 塔式起重机稳定性验算

塔式起重机有荷载时，其稳定性验算简图如附图 2.2 所示。



附图 2.2 塔式起重机有荷载时稳定性验算简图

塔式起重机有荷载时，稳定安全系数可按下式验算：

$$K_1=\frac{1}{Q(a-b)}\left[G(c-h_0\sin\alpha+b)-\frac{Qv(a-b)}{gt}-W_1P_1-W_2P_2-\frac{Qn^2ah}{900-Hn^2}\right]\geqslant 1.15$$

式中 K_1——塔式起重机有荷载时稳定安全系数，允许稳定安全系数最小取 1.15；

G——起重机自重力（包括配重、压重），G=450.80kN；

c——起重机重心至旋转中心的距离，c=5.50m；

h_0——起重机重心至支承平面距离，h_0=6.00m；

b——起重机旋转中心至倾覆边缘的距离，b=1.50m；

Q——最大工作荷载，Q=100.00kN；

g——重力加速度（m/s^2），取 9.81；

v——起升速度，v=0.50m/s；

t——制动时间，t=2s；

a——起重机旋转中心至悬挂物重心的水平距离，a=15.00m；

W_1——作用在起重机上的风力，W_1=2.00kN；

W_2——作用在荷载上的风力，W_2=2.00kN；

P_1——自 W_1 作用线至倾覆点的垂直距离，P_1=8.00m；

P_2——自 W_2 作用线至倾覆点的垂直距离，P_2=2.50m；

h——吊杆端部至支承平面的垂直距离，h=30.00m；

n——起重机的旋转速度，n=1.0r/min；

H——吊杆端部到重物最低位置时的重心距离，H=28.00m；

α——起重机的倾斜角，α=0°。

经过计算得到：K_1=2.266

由于 $K_1>1.15$，所以当塔式起重机有荷载时，稳定安全系数满足要求。

9. 承台配筋计算

(1) 抗弯计算，依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2012) 第 8.2.7 条，计算公式如下：

$$M_{\mathrm{I}}=\frac{1}{12}a_1^2\left[(2l+a')\left(p_{\max}+p-\frac{2G}{A}\right)+(P_{\max}-p)l\right]$$

式中 a_1——截面 I—I 至基底边缘的距离，取 a_1=1.75m；

P——截面 I—I 处的基底反力；$P=P_{\max}\times\frac{3a-a_1}{3a}$，则 P=267.06×(3×1.50−1.75)/(3×1.50)=163.20(kPa)；

a'——截面 I—I 在基底的投影长度，取 a'=1.50m。

经过计算得：M=1.752×[(2×5.00+1.50)×(267.06+163.20−2×4012.50/5.002)+(267.06−163.20)×5.00]/12=453.21(kN•m)。

(2) 配筋面积计算，依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2012) 第 7.2 条，公式如下：

$$a_s = \frac{m}{\alpha_1 f_c b h_0^2}$$

$$\zeta = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s}$$

$$\gamma_s = 1 - \zeta / 2$$

$$A_S = \frac{M}{r_s h_0 f_y}$$

式中　α_1——系数，当混凝土强度不超过 C50 时，α_1 取为 1.0；

f_c——混凝土抗压强度设计值；

h_0——承台的计算高度。

经过计算得：　α_s=453.21×106/(1.00×16.70×5.00×103×13002)=0.003；

ζ =1-(1-2×0.003)×0.5=0.003；

A_s=453.21×106/(1×1300×300.00)=12318(mm^2)。

由于最小配筋率为 0.15%，所以最小配筋面积为 10470mm^2。

故取 A_s=10470mm^2，配筋选用 ϕ22@165。

附录 3

模板工程设计编制要点

1. 梁模板与支撑计算书

1）梁模板基本参数

梁截面宽度 B(mm)：500。

梁截面高度 H(mm)：1200。

H 方向对拉螺栓：3 道；对拉螺栓直径（mm）：14。

对拉螺栓在垂直于梁截面方向距离（即计算跨度）(mm)：500。

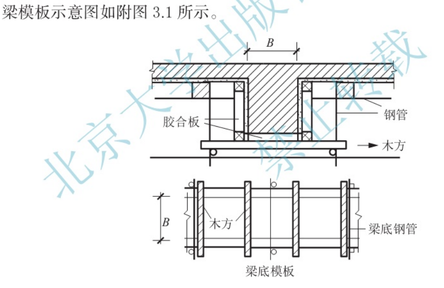
梁模板使用的木方截面（mm^2）：55×75。

梁模板截面底部木方距离（mm）：150；梁模板截面侧面木方距离（mm）：300。

梁底模面板厚度 h(mm)：12；弹性模量 E(N/mm^2)：6000；抗弯强度 [f](N/mm^2)：15。

梁侧模面板厚度 h(mm)：12；弹性模量 E(N/mm^2)：6000；抗弯强度 [f](N/mm^2)：15。

梁模板示意图如附图 3.1 所示。



附图 3.1　梁模板示意图

2）梁模板荷载标准值计算

模板自重（kN/m^2）：0.340。

钢筋自重（kN/m^3）：1.500。

混凝土自重（kN/m^3）：24.000。

施工荷载标准值（kN/m^2）：2.500。

强度验算要考虑新浇混凝土侧压力和倾倒混凝土时产生的荷载设计值；挠度验算只考虑新浇混凝土侧压力产生荷载标准值。

新浇混凝土侧压力计算公式为下式中的较小值：

$$F = 0.22\gamma_c t\beta_1\beta_2\sqrt{v}\ ;\ F = \gamma_c H$$

其中 γ_c—— 混凝土的重力密度，取 24.000kN/m^3；

t—— 新浇混凝土的初凝时间，为 0 时（表示无资料）取 200/(T+15)，取 2.000h；

T—— 混凝土的入模温度，取 10.000℃；

v—— 混凝土的浇筑速度，取 2.500m/h；

H—— 混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面总高度，取 1.200m；

β_1—— 外加剂影响修正系数，取 1.000；

β_2—— 混凝土坍落度影响修正系数，取 0.850。

根据公式计算的新浇混凝土侧压力标准值：F_1=14.190kN/m^2。

考虑结构的重要性系数 0.9，实际计算中采用新浇混凝土侧压力标准值：F_1=0.9×14.190=12.771(kN/m^2)。

考虑结构的重要性系数 0.9，倒混凝土时产生的荷载标准值：F_2=0.9×4.000=3.600(kN/m^2)。

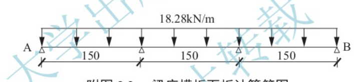
3) 梁模板底模计算

本算例中，截面惯性矩 I 和截面抵抗矩 W 分别为：

截面抵抗矩：W = 12.00cm^3。

截面惯性矩：I = 7.20cm^4。

梁底模板面板按照三跨连续梁计算，计算简图如附图 3.2 所示。



附图 3.2 梁底模板面板计算简图

(1) 抗弯强度计算。抗弯强度计算公式要求：

$$f = M/W < [f]$$

式中 f—— 梁底模板的抗弯强度计算值 (N/mm^2)；

M—— 计算的最大弯矩 (kN•m)；

q—— 作用在梁底模板的均布荷载 (kN/m)。

q=0.9×1.2×[0.34×0.50+24.00×0.50×1.20+1.50×0.50×1.20]+1.40×2.50×0.50
=18.28(kN/m)

最大弯矩计算公式如下：

$$M_{\max} = -0.10ql^2$$

最大弯矩：M=−0.10×18.28×0.150^2=−0.041(kN•m)

抗弯强度：f=0.041×10^6/12000.0=3.42(N/mm^2)

梁底模面板抗弯计算强度 3.42N/m^2 小于 15.00N/mm^2，满足要求。

(2) 抗剪计算。

最大剪力的计算公式如下：

$$Q = 0.6ql$$

截面抗剪强度必须满足：

$$T = 3Q/2bh < [T]$$

其中最大剪力：Q=0.6×0.150×18.283=1.645（kN）

截面抗剪强度计算值：T=3×1645/（2×500×12）=0.411（N/mm^2）

截面抗剪强度设计值：[T]=1.40N/mm^2

面板的抗剪强度 0.411N/mm^2 小于抗剪强度设计值 1.40N/mm^2，满足要求。

(3) 挠度计算。最大挠度计算公式如下：

$$v_{\max} = 0.677\frac{ql^4}{100EI}$$

其中，q = 0.9×（0.34×0.50+24.00×0.50×1.20+1.50×0.50×1.20）=13.923（N/mm）

三跨连续梁均布荷载作用下的最大挠度：

$$v = 0.677×13.923×150.0^4/(100×6000.00×72000.0)=0.110\ (\text{mm})$$

梁底模板的挠度 0.110mm 小于 150/250mm，满足要求。

4) 梁模板侧模计算

面板直接承受模板传递的荷载，应该按照均布荷载下的连续梁计算，计算如下。

作用在梁侧模板的均布荷载：q=（1.2×12.77+1.40×3.60）×1.20=24.438（N/mm）

本算例中，截面惯性矩 I 和截面抵抗矩 W 分别为：

截面抵抗矩 W = 28.80cm^3。

截面惯性矩 I = 17.28cm^4。

(1) 抗弯强度计算。

$$f = M / W < [f]$$

式中 f —— 面板的抗弯强度计算值（N/mm^2）；

M —— 面板的最大弯矩（N•mm）；

W —— 面板的净截面抵抗矩；

[f] —— 面板的抗弯强度设计值，取 15.00N/mm^2。

面板的最大弯矩计算公式如下：

$$M = 0.100ql^2$$

式中 q —— 荷载设计值（kN/m）。

经计算得到：M = 0.100×（1.20×15.325+1.40×4.320）×0.300×0.300=0.220（N•mm）

经计算得到面板抗弯强度计算值：f = 0.220×1000×1000/28800=7.637（N/mm^2）

面板的抗弯强度 7.637N/mm^2 小于 15.00N/mm^2，满足要求。

(2) 挠度计算。

$$v = 0.677ql^4 / 100EI < [v] = l / 250$$

面板最大挠度计算值：v = 0.677×15.325×300^4/（100×6000×172800）=0.811（mm）

面板的最大挠度 0.811mm 小于 300.0/250=1.22（mm），满足要求。

5）穿梁螺栓计算

计算公式：

$$N < [N] = fA$$

式中 N —— 穿梁螺栓所受的拉力；

A —— 穿梁螺栓有效面积（mm^2）；

f —— 穿梁螺栓的抗拉强度设计值，取 170N/mm^2。

穿梁螺栓承受最大拉力：N=(1.2×12.77+1.40×3.60)×1.20×0.50/3=4.07(kN)

穿梁螺栓直径：14mm

穿梁螺栓有效直径：11.6mm

穿梁螺栓有效面积：A=105.000mm^2

穿梁螺栓最大容许拉力值：[N]=17.850kN

穿梁螺栓承受拉力最大值：N=4.073kN

穿梁螺栓的布置距离为侧龙骨的计算间距：500mm

每个截面布置 3 道穿梁螺栓。

穿梁螺栓承受拉力最大值 4.073kN 小于最大容许拉力值 17.850kN，满足要求。

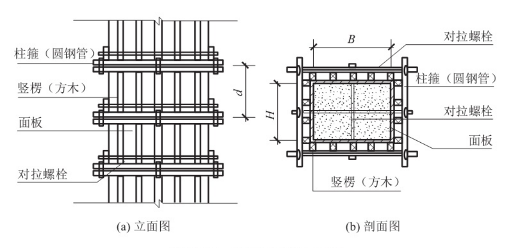
6）梁支撑脚手架的计算

支撑条件采用钢管脚手架形式，参见附录 1 计算内容。

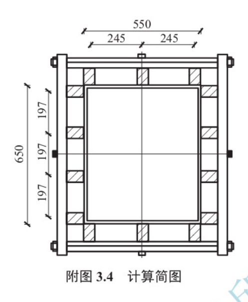
2. 柱模板计算

柱模板的背部支撑由两层（木楞或钢楞）组成，第一层为直接支撑模板的竖楞（木方），用以支撑混凝土对模板的侧压力；第二层为支撑竖楞的柱箍，用以支撑竖楞所受的压力；柱箍之间用对拉螺栓相互拉接，形成一个完整的柱模板支撑体系。柱模板设计示意图和计算简图如附图 3.3 和附图 3.4 所示。

选取：柱截面宽度 B 为 550.00mm；高度 H 为 650.00mm；柱模板的总计算高度 H = 5.00m。



附图 3.3 柱模板设计示意图



附图 3.4　计算简图

1）参数信息

（1）基本参数。

柱截面宽度 B 方向对拉螺栓数目为 1 个；柱截面宽度 B 方向竖楞数目为 3 个；柱截面高度 H 方向对拉螺栓数目为 1 个；柱截面高度 H 方向竖楞数目为 4 个；对拉螺栓直径为 M12mm。

（2）柱箍信息。

柱箍材料为钢楞；截面类型为圆钢管（48mm×3.5mm）；钢楞截面惯性矩 I 为 12.19cm^4；钢楞截面抵抗矩 W 为 5.08cm^3；柱箍的间距为 450mm；柱箍肢数为 2 肢。

（3）竖楞信息。

竖楞材料为木楞；宽度为 60.00mm；高度为 80.00mm；竖楞肢数为 1 肢。

（4）面板参数。

面板类型为竹胶合板；面板厚度为 18.00mm；面板弹性模量为 3500.00N/mm^2；

面板抗弯强度设计值 f_c 为 13.00N/mm^2；面板抗剪强度设计值为 1.40N/mm^2。

（5）木方和钢楞。

方木抗弯强度设计值 f_c 为 13.00N/mm^2；方木弹性模量 E 为 8000.00N/mm^2；方木抗剪强度设计值 f_t 为 1.40N/mm^2；钢楞弹性模量 E 为 210000.00N/mm^2；钢楞抗弯强度设计值 f_c 为 205.00N/mm^2。

2）柱模板荷载标准值计算

$$F=\gamma H \leqslant 60\text{kN/m}^2\text{（商品混凝土）}$$

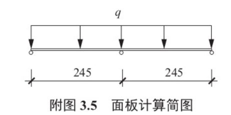
新浇混凝土侧压力标准值：F_1=24×5=120(kN/m^2)，取 F=60.000kN/m^2

倾倒混凝土时产生的荷载标准值：F_2= 4.000 kN/m^2

3）柱模板面板的计算

模板结构构件中的面板属于受弯构件，按简支梁或连续梁计算。本工程中取柱截面宽度 B 方向和 H 方向中竖楞间距最大的面板作为验算对象，进行强度、刚度计算。强度验算要考虑新浇混凝土侧压力和倾倒混凝土时产生的荷载；挠度验算只考虑新浇混凝土的侧压力。

由前述参数信息可知，柱截面宽度 B 方向竖楞间距最大，为 l= 245mm，且竖楞数为 3 根，面板为 2 跨，因此对柱截面宽度 B 方向面板按均布荷载作用下的两跨连续梁进行计算，面板计算简图如附图 3.5 所示。



附图 3.5　面板计算简图

(1) 面板抗弯强度验算。

对柱截面宽度 B 方向面板按均布荷载作用下的两跨连续梁用下式计算最大跨中弯矩：

$$M = 0.125ql$$

式中　M——面板计算最大弯矩（N•mm）；

l——计算跨度（竖楞间距），l =245.0mm；

q——作用在模板上的侧压力线荷载，它包括：新浇混凝土侧压力设计值 q_1=1.2×60.00×0.45×0.90=29.160(kN/m)；倾倒混凝土侧压力设计值 q_2=1.4×4.00×0.45×0.90=2.268(kN/m)，式中，0.90 为按《建筑施工手册》取用的临时结构折减系数。

侧压力线荷载：$q = q_1 + q_2$ =29.160+2.268=31.428(kN/m)

面板的最大弯矩 M =0.125 ×31.428×245×245= 1.89×10^5(N•mm)

面板最大应力按下式计算：

$$\sigma = \frac{M}{W} < f$$

式中　σ——面板承受的应力（N/mm^2）；

M——面板计算最大弯矩（N•mm）；

W——面板的截面抵抗矩，$W = \frac{bh^2}{6}$（b 为面板截面宽度，h 为面板截面厚度）；面板的截面抵抗矩 W= 450×18.0×18.0/6=2.43×10^4(mm^3)；

f——面板的抗弯强度设计值（N/mm^2），f=13.000N/mm^2。

面板的最大应力计算值：$\sigma = M/W$ = 1.89×10^5 / 2.43×10^4 = 7.763(N/mm^2)

面板的最大应力计算值 σ =7.763N/mm^2 小于抗弯强度设计值 f=13.000N/mm^2，满足要求。

(2) 面板抗剪验算。

最大剪力按均布荷载作用下的两跨连续梁计算，公式如下：

$$V = 0.625ql$$

式中　V——面板计算最大剪力（N）；

l——计算跨度（竖楞间距），l =245.0mm；

q——作用在模板上的侧压力线荷载。

面板的最大剪力：$V = 0.625\times31.428\times245.0 = 4812.413$（N）

截面抗剪强度必须满足下式：

$$\tau = \frac{3V}{2bh_n} \leqslant f_v$$

式中 τ——面板承受的剪应力（N/mm^2）；

V——面板计算最大剪力（N），$V = 4812.413N$；

b——构件的截面宽度（mm），$b = 450mm$；

h_n——面板厚度（mm），$h_n = 18.0mm$。

面板截面受剪应力计算值：$\tau = 3\times4812.413/(2\times450\times18.0) = 0.891$（$N/mm^2$）

面板截面的受剪应力 $\tau = 0.891N/mm^2$ 小于抗剪强度设计值 $f_v = 1.400N/mm^2$，满足要求。

（3）面板挠度验算。

最大挠度按均布荷载作用下的两跨连续梁计算，挠度计算公式如下：

$$\omega = \frac{0.521ql^4}{100EI} \leqslant [\omega] = l/250$$

式中 ω——面板最大挠度（mm）；

q——作用在模板上的侧压力线荷载（kN/m），$q = 60.00\times0.45 = 27.00$（kN/m）；

l——计算跨度（竖楞间距），$l = 245.0mm$；

E——面板弹性模量（N/mm^2），$E = 5000.00\ N/mm^2$；

I——面板截面的惯性矩（mm^4），$I = \dfrac{bh^3}{12}$。

面板截面惯性矩：$I = 450\times18.0\times18.0\times18.0/12 = 2.19\times10^5$（$mm^4$）

面板最大容许挠度：$[\omega] = 245.0 / 250 = 0.980$（mm）

面板的最大挠度计算值：$\omega = 0.521\times27.00\times245.0^4/(100\times3500.0\times2.19\times10^5) = 0.661$（mm）

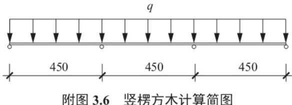
面板的最大挠度计算值 $\omega = 0.463mm$ 小于允许挠度 $[\omega] = 0.980mm$，满足要求。

4）竖楞方木的计算

模板结构构件中的竖楞（小楞）属于受弯构件，按连续梁计算。

本工程柱高度为 5.0m，柱箍间距为 450mm，竖楞为大于 3 跨，因此按均布荷载作用下的三跨连续梁计算计算简图如附图 3.6 所示。竖楞采用木楞，宽度为 60mm，高度为 80mm，竖楞截面惯性矩 I 和截面抵抗矩 W 分别为：

竖楞截面惯性矩 $I = 60\times80\times80\times80/12 = 256.00$（cm）；竖楞截面抵抗矩 $W = 60\times80\times80/6 = 64.00$（$cm^3$）。



附图 3.6 竖楞方木计算简图

（1）抗弯强度验算。

支座最大弯矩计算公式：

$$M = 0.1ql^2$$

式中 M——竖楞计算最大弯矩（N•mm）；

l——计算跨度（柱箍间距），l =450.0mm；

q——作用在竖楞上的线荷载，它包括：新浇混凝土侧压力设计值 q_1= 1.2×60.00×0.25×0.90=15.876(kN/m)；倾倒混凝土侧压力设计值 q_2=1.4×4.00×0.25×0.90=1.235(kN/m)。

竖楞上的线荷载：q = 15.876+1.235=17.111(kN/m)（竖楞双肢时要除以 2）

竖楞的最大弯矩：M =0.1×17.111×450.0×450.0= 3.46×10^5(N•mm)

竖楞最大应力按下式计算：

$$\sigma = \frac{M}{W} < f$$

式中 σ——竖楞承受的应力（N/mm^2）；

M——竖楞计算最大弯矩（N•mm）；

W——竖楞的截面抵抗矩（mm^3），W=6.40×10^4(mm^3)；

f——竖楞的抗弯强度设计值（N/mm^2），f=13.000N/mm^2。

竖楞的最大应力计算值：$\sigma = M/W$ = 3.46×10^5/6.40×10^4 = 5.406(N/mm^2)

竖楞的最大应力计算值 σ =5.406 N/mm^2 小于 抗弯强度设计值 f=13.000(N/mm^2)，满足要求。

(2) 抗剪验算。

最大剪力按均布荷载作用下的三跨连续梁计算，公式如下：

$$V = 0.6ql$$

式中 V——竖楞计算最大剪力（N）；

l——计算跨度（柱箍间距），l =450.0mm；

q——作用在模板上的侧压力线荷载。

竖楞的最大剪力：V = 0.6×17.111×450.0 = 4619.97(N)

截面抗剪强度必须满足下式：

$$\tau = \frac{3V}{2bh_n} \leqslant f_v$$

式中 τ——竖楞截面最大受剪应力（N/mm^2）；

V——竖楞计算最大剪力（N）；

b——竖楞的截面宽度（mm），b = 60.0mm；

h_n——竖楞的截面高度（mm），h_n = 80.0mm。

竖楞截面最大受剪应力计算值：τ =3×4619.97/(2×60.0×80.0)=1.4(N/mm^2)

竖楞截面最大受剪应力计算值 τ =1.4 N/mm^2 等于设计值 f_v=1.40N/mm^2，满足要求。

(3) 挠度验算。

最大挠度按三跨连续梁计算，公式如下：

$$\omega = \frac{0.677ql^4}{100E} \leqslant [\omega] = l/250$$



式中　ω——竖楞最大挠度（mm）；

q——作用在竖楞上的线荷载（kN/m），q =60.00×0.25 = 14.70（kN/m）；

l——计算跨度（柱箍间距），l =450.0mm；

E——竖楞弹性模量（N/mm^2），E = 8000.00 N/mm^2；

I——竖楞截面的惯性矩（mm^4），I=2.56×10^{6}mm^4。

竖楞最大容许挠度：[ω] = 450/250 = 1.800（mm）

竖楞的最大挠度计算值：ω = 0.677×14.70×450.0^4/(100×8000.0×2.56×10^6) = 0.199（mm）

竖楞的最大挠度计算值 ω=0.199mm 小于竖楞最大容许挠度 [ω]=1.800mm，满足要求。

5) B 方向柱箍的计算

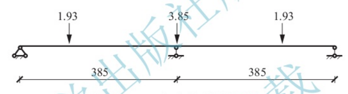
本算例中，柱箍采用钢楞，截面类型为圆钢管（48mm×3.5mm）。

钢柱箍截面惯性矩 I 和截面抵抗矩 W 分别为：

钢柱箍截面惯性矩 I = 12.19 cm^4；钢柱箍截面抵抗矩 W = 5.08 cm^3。

柱箍为两跨，按集中荷载两跨连续梁计算（附图 3.7）：

$$L=[(550+18\times2+80\times2)/2]+12(\text{间隙})=385(\text{m})$$

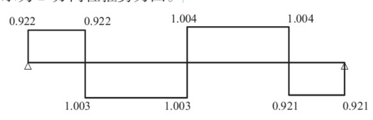


附图 3.7　B 方向柱箍计算简图

其中，P 为竖楞方木传递到柱箍的集中荷载（kN），竖楞距离取 B 方向的。

P =（1.2 ×60.00×0.90 + 1.4 ×4.00×0.90）×0.245 × 0.45/2 = 3.85（kN）（钢管为双肢，因此除以 2）

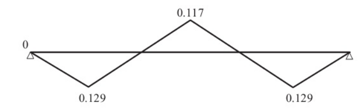
如附图 3.8 所示为 B 方向柱箍剪力图。



附图 3.8　B 方向柱箍剪力图（kN）

最大支座力 N = 5.857 kN。

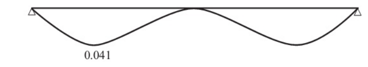
如附图 3.9 所示为 B 方向柱箍弯矩图。



附图 3.9　B 方向柱箍弯矩图（kN•m）

最大弯矩 $M = 0.129$ kN•m。

如附图 3.10 所示为 B 方向柱箍变形图。



附图 3.10 *B* 方向柱箍变形图（kN•m）

最大变形 $V = 0.041$ mm。

（1）柱箍抗弯强度验算。

柱箍截面抗弯强度验算公式：

$$\sigma = \frac{M}{W} < f$$

其中，柱箍杆件的最大弯矩设计值：$M = 0.13$ kN•m

弯矩作用平面内柱箍截面抵抗矩：$W = 5.08\ \text{cm}^3$

B 边柱箍的最大应力计算值：$\sigma = 24.19\ \text{N/mm}^2$

B 边柱箍的最大应力计算值 σ =24.19N/mm^2 小于抗弯设计值 f=205.000N/mm^2，满足要求。

（2）柱箍挠度验算。

经过计算得到：$\omega = 0.041$ mm

柱箍最大容许挠度：$[\omega] = 275.0 / 250 = 1.10$(mm)

柱箍的最大挠度 ω =0.041mm 小于柱箍最大容许挠度 $[\omega]$=1.100mm，满足要求。

6）B 方向对拉螺栓的计算

计算公式如下：

$$N < [N] = f \times A$$

式中 N —— 对拉螺栓所受的拉力；

A —— 对拉螺栓有效面积（mm^2）；

f —— 对拉螺栓的抗拉强度设计值，取 170.000 N/mm^2。

查表得：

对拉螺栓的型号：M12

对拉螺栓的有效直径：9.85 mm

对拉螺栓的有效面积：A= 76.00 mm^2

对拉螺栓所受的最大拉力：$N = 5.857$ kN

对拉螺栓最大容许拉力值：$[N] = 1.70\times10^5\times7.60\times10^{-5} = 12.920$(kN)

对拉螺栓所受的最大拉力 N=5.857kN 小于对拉螺栓最大容许拉力值 $[N]$=12.920kN，满足要求。

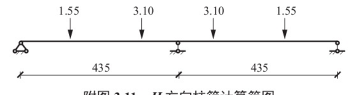
7）H 方向柱箍的计算

本算例中，柱箍采用钢楞，截面类型为圆钢管（48mm×3.5mm）。

钢柱箍截面惯性矩 I 和截面抵抗矩 W 分别为：

钢柱箍截面惯性矩 $I = 121.90\text{cm}^4$；钢柱箍截面抵抗矩 $W = 5.08\text{cm}^3$。

柱箍为两跨，按两跨连续梁计算（附图 3.11）：

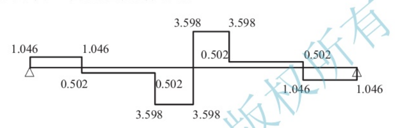


附图 3.11 *H* 方向柱箍计算简图

其中，*P* 为竖楞方木传递到柱箍的集中荷载 (kN)，竖楞距离取 *H* 方向的。

$$P = (1.2\times60.00\times0.90+1.4\times4.00\times0.90)\times0.197\times0.45/2 = 3.10\,(\text{kN})$$

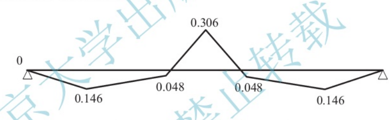
如附图 3.12 所示为 *H* 方向柱箍剪力图。



附图 3.12 *H* 方向柱箍剪力图 (kN)

最大支座力 $N = 7.195$ kN。

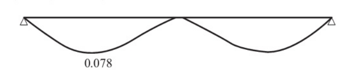
如附图 3.13 所示为 *H* 方向柱箍弯矩图。



附图 3.13 *H* 方向柱箍弯矩图 (kN•m)

最大弯矩 $M = 0.306$ kN•m。

如附图 3.14 所示为 *H* 方向柱箍变形图。



附图 3.14 *H* 方向柱箍变形图 (kN•m)

最大变形 $V = 0.078$ mm。

(1) 柱箍抗弯强度验算。

柱箍截面抗弯强度验算公式：

$$\sigma = \frac{M}{W} < f$$

其中，柱箍杆件的最大弯矩设计值：$M = 0.31$ kN•m

弯矩作用平面内柱箍截面抵抗矩：$W = 5.08\ \text{cm}^3$

H 边柱箍的最大应力计算值：$\sigma = 57.385\ \text{N/mm}^2$

H 边柱箍的最大应力计算值 σ =57.385N/mm^2 小于抗弯设计值 f=205.000N/mm^2，满足要求。

(2) 柱箍挠度验算。

经过计算得到：v = 0.078 mm

柱箍最大容许挠度：[v] = 325.000 / 250 = 1.300 mm

柱箍的最大挠度 v =0.078mm 小于柱箍最大容许挠度 [V]=1.300mm，满足要求。

8) H 方向对拉螺栓的计算

验算公式如下：

$$N < [N] = f \times A$$

式中　N —— 对拉螺栓所受的拉力；

A —— 对拉螺栓有效面积 (mm^2)；

f —— 对拉螺栓的抗拉强度设计值，取 170.000 N/mm^2。

查表得：

对拉螺栓的直径：M12

对拉螺栓有效面积：A= 76.00 mm^2

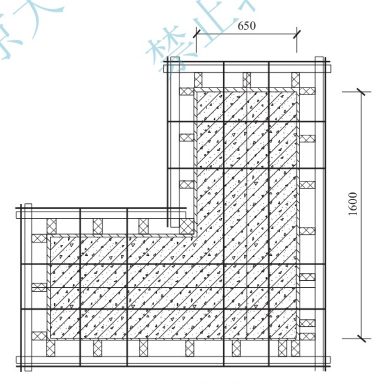
对拉螺栓最大容许拉力值：[N] = 1.70×10^5×7.60×10^{-5} = 12.920 (kN)

对拉螺栓所受的最大拉力：N = 7.195 kN

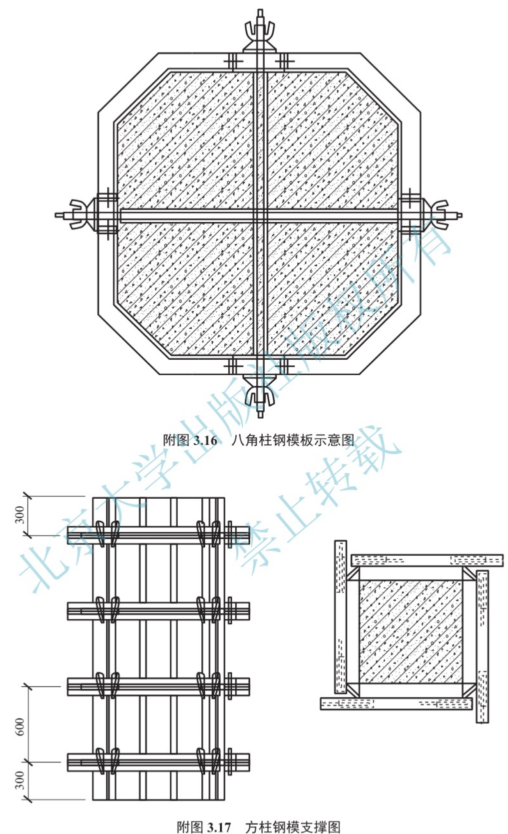
对拉螺栓所受的最大拉力：N=7.195kN，小于 [N]=12.920kN，对拉螺栓强度验算满足要求。

9) 模板支设示意图

用其他工程示范如附图 3.15 ～附图 3.18 所示，请根据自己的方案及设计绘制。

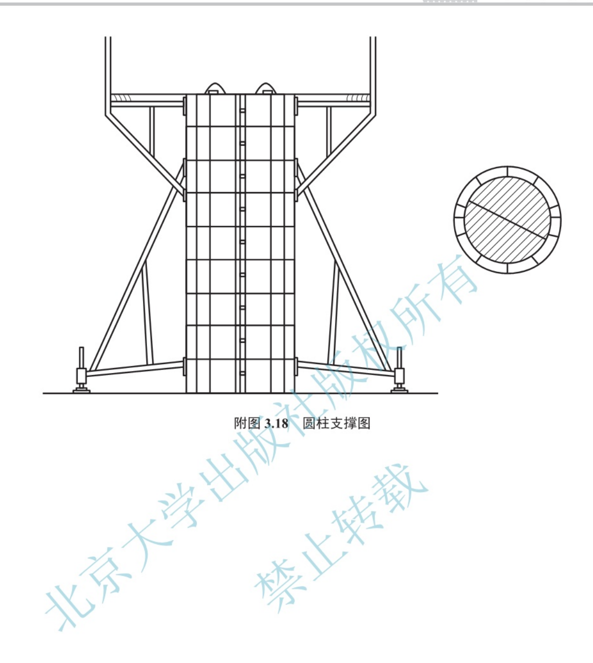


附图 3.15　大转角柱模支设图



附图 3.16　八角柱钢模板示意图

附图 3.17　方柱钢模支撑图



附图 **3.18** 圆柱支撑图

附录 4

单位工程施工组织课程设计任务书

<table>
<tr><td>系　　部</td><td></td><td>指导教师</td><td></td><td>职　　称</td><td></td></tr>
<tr><td>学生姓名</td><td></td><td>专业班级</td><td></td><td>学　　号</td><td></td></tr>
<tr><td>设计题目</td><td colspan="5">2 层框架结构单位工程施工组织课程设计</td></tr>
<tr><td>设计内容目标和要求</td><td colspan="5">一、工程概况
本建筑为二类多层建筑 2 层，房屋总高 7.2m，无地下室，总建筑面积为 542.76m²。建筑物用地地貌属于平缓场地，合理使用年限为 50 年，抗震设防烈度为 6 度。本建筑物结构类型为框架结构体系。
二、设计要求
1. 施工图样的审图
(1) 建筑施工图。
(2) 结构施工图。
2. 施工组织的编制
(1) 施工方案。
(2) 施工图预算（可不算量，由老师提供工程量）。
(3) 施工进度的编制。
(4) 施工平面图的绘制。
3. 具体要求
根据任务书所给定的资料，综合运用所学的基础知识。
(1) 收集资料，熟读多篇完整的单位工程施工组织设计。
(2) 根据工程特点选择合适的施工方案，对主要分部分项工程的施工工艺、技术要求、控制质量的措施等应有较全面的阐述。
(3) 根据图样进行算量，包括钢筋算量、土建算量（可不算量，由老师提供工程量）。
(4) 根据工程量和施工定额编制工程进度表。
(5) 根据平面布置的原则进行合理的平面布置，并绘制平面布置图。
(6) 可以根据附录 1、附录 2 编制脚手架、塔式起重机、模板专项方案，提高自己的业务水平和能力。
三、研究方法及技术途径
1. 研究方法
(1) 研究图样及设计说明。
(2) 研究单位工程编制的内容，重点掌握施工方案的选择。
(3) 熟悉工程量的计算和定额。
2. 技术途径
(1) 仔细研读教材及相关资料。
(2) 利用网络技术通过网上相关资料做搜集工作，并整理出自己所需部分。
(3) 通过学校图书馆来搜集相关讯息。
(4) 通过计算机的使用简化设计过程。</td></tr>
</table>

（续）

系　　部		指导教师		职　　称	
学生姓名		专业班级		学　　号	
设计题目	2 层框架结构单位工程施工组织课程设计				

设计内容目标和要求：

四、提交的成果

工程概况、施工程序、施工方案、施工组织进度计划（横道图、网络图）、施工平面布置图。

五、本课题研究的实施方案、进度安排

第 1 天：熟悉设计任务、调研。

第 2 天：熟悉图样。

第 3 天：确定施工方案。

第 4 ～ 6 天：计算工程量，套定额，完成工期安排。

第 7 ～ 8 天：施工进度计划编制绘制。

第 9 天：施工平面图样的绘制。

第 10 天：进行整理，根据指导教师修改意见对课程设计初稿进行修改，并按格式规范定稿。

六、工程定额表

序号	工程项目	工　序	时间定额	基础层数量	一层数量	二层数量
1	现浇框架柱	支模板 /m^2	0.159 工日 /m^2			
		扎钢筋 /t	2.63 工日 /t			
		浇混凝土 /m^3	0.112 工日 /m^3			
2	现浇框架梁	支模板 /m^2	0.154 工日 /m^2			
		扎钢筋 /t	2.70 工日 /t			
		浇混凝土 /m^3	0.112 工日 /m^3			
3	现浇楼板	支模板 /m^2	0.152 工日 /m^2			
		扎钢筋 /t	1.3 工日 /t			
		浇混凝土 /m^3	0.15 工日 /m^3			

工程项目	工日数	工人数	工　　期
框架柱钢筋			
柱、梁、板模板			
梁、板钢筋			
柱、梁、板混凝土			

指导教师签名：

年　　月　　日

系部审核	